

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Hodnocení kvality videa**  
**Video Quality Evaluation**

**2014**

**Petr Škrobák**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Škrobák**  
Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie  
Studijní obor: 2612R059 Mobilní technologie  
Téma: **Hodnocení kvality videa**  
**Video Quality Evaluation**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracování obrazu, kompresní algoritmy MPEG-2 a MPEG-4.
2. Objektivní metody hodnocení kvality videa MSE, PSNR, MDI a SSIM.
3. Měření vlivu ztrátovosti na kvalitu videa v MPEG-2 a MPEG-4.
4. Vyhodnocení měření a zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

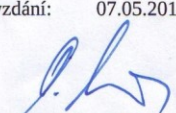
CHANGOON, Y., BOVIK, A. *Evaluation of temporal variation of video quality in packet loss networks*. Signal Processing: Image Communication, 2011, pp 34-38.  
EFAMSTER, N., BALAKRISHNAN, H. *Packet Loss Recovery for Streaming Video*. 12th International Packet Video Workshop, Pittsburgh, PA, April 2002.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

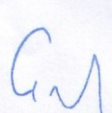
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry

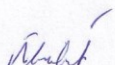


  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 4. května 2014

  
.....  
podpis studenta

## **Abstrakt**

Následující bakalářská práce se zabývá vlivem ztrátovosti dat na kvalitu video obrazu. První část nastiňuje problematiku zpracování obrazu a signálů, dále rozbor kompresních algoritmů skupiny MPEG. V návazujících kapitolách popisuje několik nejznámějších objektivních metod pro hodnocení kvality obrazu. V druhé části bude provedeno praktické měření, kde bude simulován přenos krátkých videosekvencí přes webcasting. Na přenášený obraz bude aplikována paketová ztráta a na výstupu bude sekvence uložena pro ohodnocení. Celý proces bude proveden na třech typech rozlišení pro dva kompresní algoritmy. V závěru budou zhodnoceny výsledky ztrátovosti obou kodeků s odlišnou citlivostí kódování pomocí objektivních metod.

## **Klíčová slova**

Video kvalita, objektivní metody, zpracování obrazu, kompresní algoritmy, proud, paketová ztráta, MPEG-2, MPEG-4, SSIM, VQM, PSNR, MSE, MDI

## **Abstract**

Following bachelor's thesis deals with influence of data loss rate to video picture quality. First part focuses on picture and signals processing issues, further analysis of compressing algorithms of MPEG group. In follow-up parts, it analyzes few most know objective methods for picture quality rating. In second part, practical measuring where the transfer of short videosequences will be simulated over webcasting, will be conducted. Packet loss will be applied to transmitted picture and on the outline, sequence will be saved for further rating. Whole process will be made on three types of resolving for two compress algorighms. In the end of thesis, results of both codec's loss will be rated with different sensitivity of coding using objective methods.

## **Key words**

Video quality, objective methods, image processing, compressing algorithms, stream, packet loss, MPEG-2, MPEG-4, SSIM, VQM, PSNR, MSE, MDI

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český název
<b>ACR</b>	The Absolute Category Rating Method	Úplné kategorické hodnocení
<b>Blu-ray</b>	Digital optical disc data storage	Optický disk
<b>CRTP</b>	Compressed Real-time Transport Protocol	Komprimovaný transportní protokol v reálném čase
<b>DPCM</b>	Differential pulse-code modulation	Diferenciální pulsně kódová modulace
<b>DVD</b>	Digital Versatile Disc	Digitální víceúčelový disk
<b>SCRPT</b>	Secure Real-time Transport Protocol	Zabezpečený RTP
<b>GOP</b>	Group of pictures	Skupina rámců
<b>HD</b>	High-definition	Vysoké rozlišení
<b>HDTV</b>	High-definition television	Televize s vysokým rozlišením
<b>IP</b>	Internet Protocol	Internetový protokol
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union	Mezinárodní telekomunikační unie
<b>MDI</b>	Media Delivery Index	Metoda hodnocení kvality
<b>MPEG-2</b>	Moving Picture Experts Group	Skupina expertů pro pohyblivý obraz (verze 2)
<b>MPEG-4-2</b>	Moving Picture Experts Group	Skupina expertů pro pohyblivý obraz (verze 4)
<b>PSNR</b>	Peak Signal to noise ratio	Špičkový poměr signálu k šumu

---

<b>RTP</b>	Real-time Transport Protocol	Transportní protokol v reálném čase
<b>SNR</b>	Signal to Noise ratio	Odstup signálu od šumu
<b>SSIM</b>	Structural Similarity	Strukturální podobnost
<b>TCP</b>	Transport Control Protocol	Protokol řízení přenosu
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol	Datagramový protokol
<b>VQM</b>	Video Quality Metric	Metrika video kvality

---

# Obsah

Úvod.....	- 10 -
1 Zpracování videa.....	- 11 -
1.1 Digitální video.....	- 11 -
1.2 Velikost dat digitálního obrazu .....	- 11 -
1.3 Rozměr Obrazu .....	- 12 -
1.4 Vzorkování.....	- 12 -
1.4.1 Digitální formáty vzorkování .....	- 14 -
1.5 Kvantování .....	- 14 -
1.5.1 Kvantizační šum .....	- 15 -
1.6 Digitální zpracování .....	- 15 -
1.7 Protokoly pro přenos videa .....	- 16 -
1.7.1 UDP .....	- 17 -
1.7.2 RTP.....	- 17 -
1.8 Kompresní technologie .....	- 18 -
2 Kompresní algoritmy MPEG .....	- 20 -
2.1 MPEG-2 .....	- 20 -
2.1.1 Profily MPEG-2 .....	- 22 -
2.2 MPEG-4 H.264.....	- 23 -
2.3 MPEG-4 AVS4 .....	- 24 -
2.4 Kompresní ztráty .....	- 24 -
3 Metody pro hodnocení kvality .....	- 26 -
3.1 Objektivní metody.....	- 26 -
3.1.1 VQM.....	- 26 -
3.1.2 PSNR a MSE .....	- 27 -
3.1.3 SSIM.....	- 27 -
3.2 MDI .....	- 28 -
3.3 Subjektivní metody .....	- 29 -
4 Měření vlivu ztrátovosti na kvalitu videa.....	- 30 -
4.1 Vysílání proudů .....	- 30 -



4.2	Hodnocení výsledků.....	- 31 -
4.3	Naměřené výsledky .....	- 32 -
4.3.1	PSNR.....	- 32 -
4.3.2	SSIM.....	- 33 -
4.3.3	VQM.....	- 34 -
4.3.4	MSE.....	- 36 -
	Závěr .....	- 39 -
	Použitá literatura .....	- 40 -
	Seznam příloh.....	xlii

## Úvod

V uplynulých letech se požadavky na multimediální služby začaly s rostoucím zájmem populace a náročností jednotlivých služeb rapidně zvyšovat. Multimediální přenos jako takový, ať už je řeč o broadcastovém vysílání, audio a video přenos a dalších, z globálního hlediska exponenciálně s dobou roste, a je nutno zkoumat a vytvářet nové technologie, které danou problematiku řeší.

Vzhledem k tomuto nárůstu zaujímá v dnešní době kvalita videa jako součást multimediálních technologií velmi důležitou roli. Je ovlivněna několika faktory, kde každý z nich může mít mnoho druhů forem a zpracování. Mezi zásadní atributy ovlivňující kvalitu výsledného obrazu patří chyby při přenosovém spojení, rozlišení zachycovací části zařízení, zpracování signálu, momentální možnosti přenosové sítě, a v neposlední řadě užití konkrétní kompresní technologie.

Právě rozbor kompresních technologií a vliv ztráty paketů na efektivitu nejpoužívanějších obrazových kódování bude náplní této bakalářské práce. Nejdříve provedeme teoretický rozbor kompresních technologií a zpracování obrazu, které s kvalitou videa úzce souvisí, v druhé teoretické části se budeme zabývat objektivními metodami pro hodnocení kvality videa, okrajově rozebereme také subjektivní metody. Na video obrazu existuje mnoho atributů, které lze porovnávat, proto pro měření využijeme několik nejznámějších metod pro hodnocení kvality obrazu. Každá metoda má jiné metrické postupy a jiný hodnotící systém. Na stream budeme aplikovat paketovou ztrátu po předem stanovených krocích, a zachycené proudy budou zhodnoceny jednotlivými objektivními metodami. Cílem práce je zhodnotit dopad ztrátovosti při přenosu na odlišné kompresní technologie z několika různých hledisek hodnocení.

# 1 Zpracování videa

## 1.1 Digitální video

Ve světě kolem nás existuje velké množství aplikací, které těží z technologií digitálního videa. Nedá se popřít, že rozkvět digitálního video průmyslu tvoří nemalý podíl z celosvětových investic v řádech miliard dolarů ročně. Tyto zdroje přinášejí nové pokroky v teorii digitálního zpracování videa, algoritmů, a v neposlední řadě hardwaru, z jehož vývoje investoři očekávají bilionové příjmy a zisky. Z globálního hlediska můžeme současný stav digitálního videa považovat na hranici rozvoje a výzkumu.

V uplynulé době přinesly hardwarové technologie a zavádění standardů nové možnosti, jak pro zpracování videa a jeho přenos, tak pro ukládání do digitální formy nebo sdílení mezi odlišnými platformami a aplikacemi. Stejně jako v jiných oblastech se tento vývoj odvíjí od rozvoje různých aspektů v dané problematice, v oblasti digitálního videa bývá za jeden z nejdůležitějších považován signál a jeho zpracování.

## 1.2 Velikost dat digitálního obrazu

Objem dat digitálního videa je obvykle popsán v terminologii šířkou pásma nebo přenosovou rychlostí. Šířka pásma klasického digitálního video přenosu bez komprese, které odpovídá rozlišení v televizních systémech, se pohybuje v rámci stovek mbps. Šířka pásma byla v minulých letech omezována nedostatečnými přenosovými vlastnostmi přenosových sítí, nicméně s rozvíjením nových technologií již několik let nastupující formáty jako je HDTV pracují s mnohonásobně vyššími rychlostmi, než tomu bylo donedávna.[5]

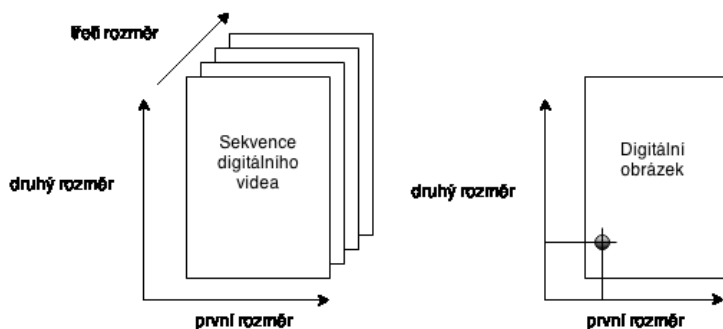
Množství dat obrazového signálu se zvyšuje s nárůstem rozlišení. Objem dat je hlavním problémem při přenosu, zpracování, ukládání a zobrazení video informací. Uložený obraz se skládá z  $N \times M$  (řádků  $\times$  sloupců) (obr 1.4) a  $B$  bitů úrovně šedé.  $B$  se vyjadřuje jedním bytem, pokud se nejedná o dvousložkový obrázek nebo speciální případ. Digitální video je v porovnání se statickými obrázky velmi citlivé na potřebnou paměť při ukládání.[3][5]

Standardní televizní vysílání má snímkovou frekvenci 29,97fps [9](obrazů za sekundu), která je dostačující pro prodlevu u vnímání lidského oka, nižší rychlost by již byla na obraze pro

člověka patrná v podobě neplynulého obrazu. Každá sekunda videosekvence o rozlišení 1080p (Full HD) nekomprimovaného videa může zabírat až desítky megabytů paměti. I přes vyspělost dnešních hardwarových systémů se jedná o velké množství dat, s kterým by asi jen těžko většina lidí v každodenním životě byla ochotná pracovat. Naštěstí video obvykle obsahuje velké množství redundantních dat, které je možno odstraňovat pomocí příslušných kompresních algoritmů. [3][5]

### 1.3 Rozměr Obrazu

Důležitou vlastností signálu u digitálního videa je, že umožňuje funkce s více proměnnými, respektive digitální video jako celek je tvořeno vícerozměrným signálem. Rozměr signálu je počet uspořádaných indexů, které jsou potřebné k označení daných bodů obrazu (obr 1.1). Důsledkem toho je zpracování obrazu, především digitálního videa, poměrně hodně závislé na výpočetních a úložných zdrojích.

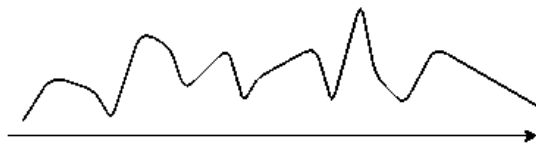


Obrázek 1.1: *Charakteristika obrazu a videa[3]*

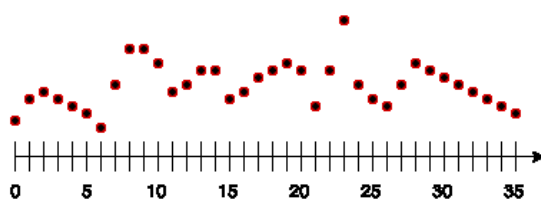
### 1.4 Vzorkování

Vzorkování je proces převádění plynulého signálu (obr. 1.2) na strukturovaný. Jedná se o velmi obsáhlé téma, které lépe popisuje soubor nástrojů teorie lineárních systémů. Z matematických vztahů vyplývá, že u plynulého signálu je nižší návaznost časového a prostorového rozměru k vzorkování frekvence, které je vyžadováno k udržení informace v signálu.

Obrázek (obr. 1.3) ukazuje výsledek vzorkování jednorozměrného navazujícího signálu. Jak lze vidět, výsledný vzorek poměrně dobře opisuje odraz původního tvaru signálu, nicméně již malé kolísání struktury je těžké rozeznat a může být úplně ztraceno. Jinak řečeno, informace můžou být ztraceny, pokud nelze zrekonstruovat originální vzorek signálu.

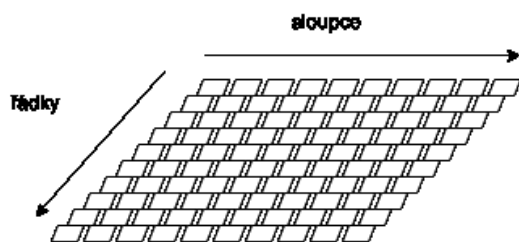


Obrázek 1.2: *Průběh spojitého signálu[3]*



Obrázek 1.3: *Diskrétní signál [3]*

Jednotlivé vzorky jsou indexovány číslicemi. Vzorkovaný signál lze vidět jako vektor čísel. Pokud je již signál v konečném rozsahu, vektor může být uložen a digitálně zpracován jako pole, díky tomu se číselné indexování stává velmi užitečným. Podobně jsou signály s prostorovým a časovým vzorkováním obvykle indexovány čísla souběžně s každým rozměrem, což umožňuje lehčí zpracování jakožto vícerozměrného pole čísel. Vzorkovaný signál je pole vzorků obrazových hodnot, které jsou obvykle uspořádány ve formátu sloupec - řádek (obr. 1.4). Každý z těchto očíslovaných elementů v poli se nazývá obrázkový prvek, více známý je zkrácený název pixel.[5][6]



Obrázek 1.4: *Ukázka velmi malého  $N \times M$  ( $10 \times 10$ ) obrazového pole[3]*

Vzorkování se značí formátem X.X.X, kde X znamená konkrétní číslo (např. 4:2:0). První číslo vyjadřuje lumen, neboli jasovou složku. Druhá dvě čísla pak označují barevné

signály v podobě R-Y a B-Y (v digitální terminologii Cr a Cb), což označuje složku červené a modré barvy.[3][6]

### 1.4.1 Digitální formáty vzorkování

#### 1.4.1.1 4:2:2

Jasová složka je samplována frekvencí 13.5 MHz a barevné informace na frekvenci 6.75 MHz. Vzhledem k tomu, že jsou obě barvy vzorkovány společně, dostane se tedy pro řádek s konkrétním počtem bodů pouze poloviny barevných vzorků. Využívají ho např. formáty DigiBeta, Beta SX, Digital-S a další.[4]

#### 1.4.1.2 4:1:1

Barevná data jsou vzorkována s poloviční frekvencí než u předchozího systému, tedy 6.75 MHz, takže výsledkem je pouze 180 barevných vzorků. Využití najde u formátu DV, DVCAM v normě NTSC a pro DVCPRO v normě PAL.[4]

#### 1.4.1.3 4:2:0

Nejzajímavější je asi vzorkování 4:2:0, v němž pracují formáty DV, DVCAM a v obrazové formě PAL. Na rozdíl od předchozích formátů jsou informace vzorkovány 360 krát, avšak pouze pro každý druhý řádek jednotlivého pole neboli půlsnímku. Důvodem je, že počet řádků v PAL, kterému více vyhovuje rovnoměrné subsamplování v horizontálním a vertikálním směru. Znamená to, že počet barevných informací, který na první pohled vypadá stejně jako u NTSC s vyjádřením 4:2:0 je důsledkem toho, že vzorkovací vzorec počítá pouze se samplováním v horizontálním směru.[4]

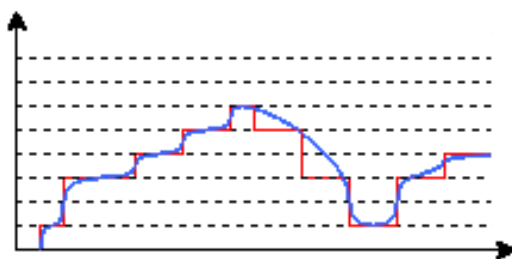
## 1.5 Kvantování

Kvantování probíhá v oboru hodnot obrazové funkce. Možný amplitudový rozsah je rozdělen do určitého počtu hladin, a jejich množství je závislé na požadované přesnosti. Po vzorkování jsou jednotlivé vzorky přiřazeny do nejbližších hladin, dochází k zaokrouhlování a k takzvanému kvantizačnímu zkreslení (obr. 1.5). Existují dva druhy kvantování:

- Lineární kvantování

- Nelineární kvantování

U Lineárního kvantování jsou od sebe jednotlivé hlaviny ve stejné vzdálenosti. Maximální kvantizační zkreslení je rovno polovině kvantizačního intervalu (to je prostor mezi sousedními kvantizačními hladinami), protože na přijímací straně se vždycky vytváří napěťová hodnota rovna polovině intervalu. Nelineární kvantování se vyznačuje nižší velikostí kvantizačních hodnot u amplitudy.[5]



Obrázek 1.5: *Kvantizační zkreslení signálu[5]*

### 1.5.1 Kvantizační šum

Jedná se o náhodný signál, který vzniká vynesemím velikostí chyb od jednotlivých vzorků do grafu. Vyjadřuje se v decibelech, a je to poměr užitečného signálu k šumu. Číslo je vyjádřeno vzorkem, kde se ve jmenovateli nachází kvantizační chyba, která je u všech lineárních převodníků stejná v intervalu  $+1/2$  až  $-1/2$  kvantizační úrovně. Proto závisí velikost kvantizačního šumu jen na čitateli zlomku, kde se nachází velikost užitečného signálu, která vyjadřuje maximální počet kvantizačních úrovní daného převodníku.[5]

## 1.6 Digitální zpracování

Digitální zpracování videa si vyžaduje digitální formu videopřenosu, to znamená kombinaci vzorkovaného a kvantovaného signálu. Princip kvantovaného signálu spočívá v tom, že umožňuje vyjádřit v libovolném okamžiku pouze jednu z konečného počtu hodnot. Naopak vzorkovaný signál mění hodnotu v odlišných časových rozměrech. Je zřejmé, že obě technologie zahrnují rozdílné koncepty a techniky.

Prvním a nedůležitějším faktem je, že časový rozměr je řízen časovými intervaly, zatímco prostorový rozměr je zpravidla řízen systémem, který uměle prokládá signály za sebe. Video je často zpracované v reálném čase, z čehož plyne, že výsledek zpracovávání se projevuje v okamžiku, kdy je dostupný vstup videa. Systém, který video zpracovává jako takový, může být závislý pouze na několika málo vzorcích, které může v aktuální chvíli zpracovávat. Navíc musí zpracovávat data dostatečně rychle, aby byl výsledek vidět okamžitě. Proto se sestavení dostatečně rychlých algoritmů a výkonného hardwaru stává hlavní prioritou tohoto problému. [3]

### 1.7 Protokoly pro přenos videa

V síti internet existuje mnoho protokolů pro přenos dat mezi uživateli. Každý z nich má odlišnou charakteristiku a byl vytvořen pro jiné účely. Pro přenos video souborů, ať už v reálném nebo systémovém čase (Video on demand), se používají zásadně tzv. nespolehlivé protokoly. Jejich princip spočívá v odesílání a přijímání dat bez zpětné vazby mezi odesílatelem a příjemcem. Na to, proč tomu tak je zrovna u video přenosů, je jednoduchá odpověď. Zkusme si představit, že video přenos je realizován nad protokolem TCP, který zajišťuje doručení paketů prostřednictvím potvrzovacích mechanismů (acknowledgment) a opětovného vysílání (retransmission). Pokud by uživatel sledoval například živý televizní vstup a docházelo by v přenosovém kanálu ke ztrátám, obraz by byl pro člověka nepozorovatelný. Sice by se jevil jako ostrý, nicméně docházelo by k velkému opoždění, jednotlivé scény by byly přeházené, nenavazovaly by na sebe, a celá sekvence by byla spíš prezentace za sebou jdoucích obrázků. Proto je mnohem vhodnější při přenosu v reálném čase ztracené nebo poškozené pakety ignorovat a využívat pro přenos videosekvencí protokoly, které nezajišťují spolehlivé doručení paketů, a kde se sice paketová ztráta může také projevit na opoždění obrazu v rámci celého proudu, nebo nejčastěji na jeho kvalitě, ale nemůže se stát, aby nám sekvence nebo snímky přicházely v přeházeném pořadí. Faktory ovlivňující video přenos jsou:

- Latency (celkové zpoždění)

Je to čas, který uplyne od vyslání zprávy ze zdroje do přijetí cílovým uzlem.

- Packet order (změna pořadí paketů)

Důsledek odlišného směrování každého paketu a také zpoždění.

- Jitter (kolísání zpoždění)

Představuje variabilitu při doručování paketů cílovému uzlu. Způsobuje přetečení nebo podtečení vyrovnávací paměti.



- Packet loss (ztrátovost paketů)

Je to průměrný počet paketů, který nedorazí k cílovému uzlu z důvodu momentálního stavu sítě. Nejčastěji bývá vyjádřena v procentech.

- Bandwidth (propustnost)

Vyjadřuje kapacitu přenosového kanálu.

- Delay (zpoždění)

Vzniká přeplněním fronty paketů na odchozím rozhraní.[8]

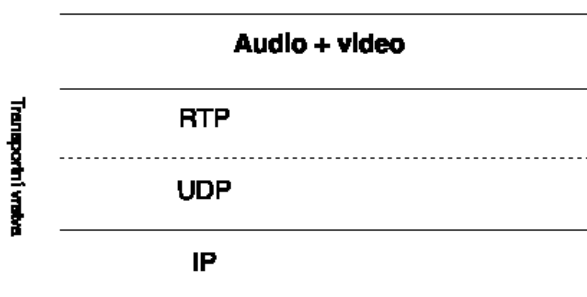
### 1.7.1 UDP

Patří mezi jeden z nejznámějších protokolů používaných pro přenos dat na internetu. Pomocí UDP jsou schopny počítačové aplikace posílat zprávy ve formě datagramů jiným hostům v IP sítích bez navázání předchozí komunikace, jako například vytvoření přenosového kanálu nebo datové cesty. Používá jednoduchý přenosový model s minimálním množstvím přenosových mechanismů. Pro příjemce neexistuje žádný způsob jak se dostat k datům, která byla při odesílání v síti ztracena. Obdrží pouze a jen ta data, která projdou celou cestu k němu bez nutnosti žádat o jejich znovuzaslání v případě ztráty. Pro datovou integritu poskytuje UDP kontrolní součet, pro adresování zdrojových a cílových datagramů využívá čísla portů jednotlivých funkcí. Protokolu UDP ale chybí některé potřebné vlastnosti pro specifikaci přenosu v reálném čase a proto je nad ním pro přenos videa potřeba ještě doplňující protokol RTP.[9]

### 1.7.2 RTP

Jedná se o protokol, který zajišťuje podporu pro multimediální přenosy v reálném čase. Stejně jako UDP nezaručuje doručení všech přenášených paketů, ale označuje je pořadovými čísly. Jeho základem je synchronizace časového přenosu a rozpoznání chybějících částí nebo přeházeného pořadí příchozích dat. Je realizován tak, aby pracoval jak v jednosměrném tak v obousměrném přenosu. Umožňuje také přenášet skupiny přenosů, proto je používán pro videokonference a IP telefonii. Nejčastěji pracuje nad protokolem UDP (obr. 1.6), nicméně může pracovat i s jinými přenosovými protokoly. Pro zjištění duplicitních nebo chybějících paketů přiřazuje ke každému paketu pořadové číslo (sequence number) a identifikaci (payload identification), což je informace o formátu souboru, který tvoří obsah paketu. Kódování obsahu

je adaptivní rozdílům v šířce pásma. Dále nese každý paket informaci o začátku a konci rámce, o synchronizaci a o identifikaci zdroje.



Obrázek 1.6: *Příklad protokolové architektury s RTP[9]*

RTP také využívá komprese při přenosu videa v datové části zprávy a v záhlaví. Komprimovaný RTP (CRTP) je určen pro zmenšení datového objemu záhlaví u jednotek IP, UDP a RTP. CRTP dosahuje největší účinnosti ve dvoubodových spojkách, nicméně v sítích s většími ztrátami paketů a doručováním dat ve špatném pořadí je špatně využitelný v oblasti IP telefonie. Pro ty existuje vylepšená verze ve formě ECRPT.[9][10]

## 1.8 Kompresní technologie

Jeden ze zásadních faktorů ovlivňujících kvalitu videa při přenosu je aplikovaná kompresní technologie. Ať už se jedná o statickou nebo dynamickou sekvenci, účelem komprese je snížení redundandních a irelevantních dat na minimální možné množství bez toho, aby došlo k porušení nebo ztrátě původní struktury obrazu. U přenosu se ovšem odlišné technologie kódování podle momentálních možností sítě (ztráta paketů) různě projeví na výsledné kvalitě videa. Každá kompresní technologie má odlišnou citlivost kódování, u některých kodeků může znamenat ztráta jednotek procent dat pouze nepatrné rozostření obrazu, u jiných se takové ztráty projeví velmi zásadně.

Redundační složka označuje taková data, která lze vyjádřit v jiném (užším) pojetí, to znamená, že se sníží velikost celkových informací, ale obsah zůstane zachovaný. Naproti tomu odstranění irelevantních dat znamená vypuštění dat, u kterého dochází ke ztrátám, respektive

porušení obrazu, které lidské oko nedovede zaznamenat. V současné době je vyvíjeno množství kompresních standardů, a velká část z nich je založena na technologii zvané MPEG.[6]

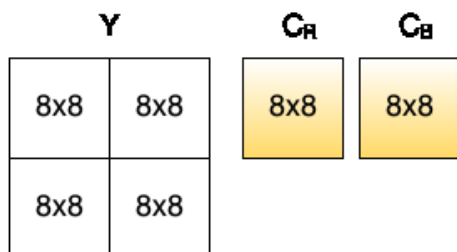
## 2 Kompresní algoritmy MPEG

### 2.1 MPEG-2

MPEG-2 je jeden z nejvíce používaných kompresních standardů. Byl schválen v roce 1994 a jeho kódování je postaveno na starším MPEG-1 standardu. Na rozdíl od svého předchůdce zahrnuje některé nové funkce jako například škálovatelnost nebo definici profilů a vrstev. Profily popisují jednotlivé funkce, zatímco vrstvy definují rozlišení a datový tok. Nicméně ne všechny vrstvy jsou podporovány všemy profily. Nejdůležitější aplikací MPEG-2 standardu je digitální broadcastové vysílání (DVB-T, DVB-S, DVB-C) ale také specifikuje formáty filmů a ostatních programů, které jsou distribuovány na DVD nosičích. MPEG-2 rozlišuje tyto hierarchické struktury obrazu[11]:

- Sekvence
- Skupina obrázků GOP
- Obrázek (snímek nebo půlsnímek)
- Druh makrobloků (slice)
- Makroblok
- Blok
- Vzorek

Vzorky jsou tvořeny osmibitovými informacemi o chrominaci nebo jasu obrazových prvků. Blok je tvořen skupinou 8x8 chrominančních a jasových vzorků, a čtyři takové bloky vytvářejí makroblok. Množství bloků v makrobloku se odvíjí od způsobu vzorkování chrominančních informací. V nejpoužívanějším systému, který je tvořeno vzorkováním 4:2:0 se v makrobloku nachází jeden blok Cb a jeden blok Cr (obr. 1.7).[11][7]



Obrázek 1.7: Makroblok 4:2:0 tvoří 6 bloků 8x8[11]

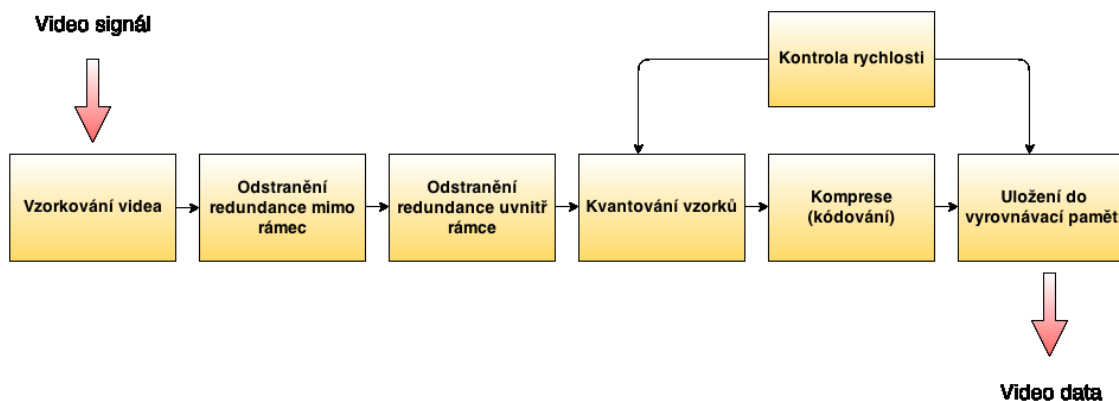
Skupina po sobě jdoucích makrobloků, které zabírají odpovídajících 16 řádků, vytvářejí pruh makrobloků. U 720 aktivních vzorků může pruh zabírat nejvíce 45 makrobloků, nicméně pruh může být libovolné velikosti. Jeden makroblok tvoří nejkratší pruh. Maximální počet makrobloků na jeden snímek je  $45 \times 36 = 1620$ . Existují 3 druhy obrazu, typ P, B a I.[11]

- Kódování obrázku P se odvíjí od předcházejícího obrázku I nebo P na základě diferenční pulsne kódové modulace DPCM. Kódují se makrobloky a přenášejí se pouze rozdíly signálu vzhledem k již přenesenému referenčnímu makrobloku z přecházejícího obrázku. Polohu referenčního makrobloku v paměti udává tzv. pohybový vektor. Ty se vytvářejí v kodéru podle složitých algoritmů analýzou všech makrobloků ve vyhledávací oblasti. Dekodér vyhledá v paměti makroblok, který již byl přenesen pomocí souřadnic pohybového vektoru, a ten získá původní hodnoty právě kódovaného makrobloku.[11]
- Typ I je kódován buď vnitropulsnímkově nebo vnitrosnímkově, z toho vyplývá, že nemá žádný vliv na předcházející ani následující snímek. [11]
- Obrázek B používá makrobloky z předcházejícího a následujícího obrázku I nebo P. Kodér mění pořadí obrázku při vysílání tak, že při přenosu jsou příslušné referenční obrázky I nebo P již uloženy v paměti přijmače. Dekodér potom zajišťuje zobrazení ve správném pořadí. Pak jsou uloženy informace obsaženy buď v předchozím, nebo v následujícím obrázku.[11]

Algoritmus kódování MPEG-2 dosahuje velmi účinné komprese díky využití redundance ve video informacích. Odstraňuje složku časové a prostorové redundance, které jsou obsaženy v pohyblivém videu (obr. 1.8). Časová redundance vzniká, když jsou dva totožné rámce video obrazu zobrazeny ve stejný okamžik. To je běžný případ nehybného obrazu nebo jen jeho pomalu se projevující změně u určitého časového intervalu videosekvence. Prostorová redundance je případ, kdy jsou prostorové body přenášeny z jednoho videorámce do následujícího, a je zapotřebí menší množství provedených změn.

Samozřejmě není možné vždycky komprimovat každý rámeček video klipu ve stejném rozsahu, některé části mají menší obsah prostorové redundance a některé nižší obsah časové redundance. Komprimovaný video proud je proto přirozeně závislý na pevné přenosové rychlosti. Klíč ke kontrole požadované rychlosti dat je v ukládání dat do vyrovnávací

paměti. Minimální dopad na celkovou kvalitu obrazu může být dosažen zahazováním nejvíce detailních informací, při zachování méně konkrétního obrazového obsahu. To lze zajistit zmenšením celkové přenosové rychlosti, zatímco kvalita obrazu utrpí minimální poškození.



Obrázek 1.8: Základní operace MPEG-2 kodéru[18]

MPEG-2 zahrnuje širokou škálu kompresních mechanismů. Proto musí být vhodně zvolen kodér a kompresní mechanismus pro jednotlivé scény nebo sekvence scén. Obecně platí, že více komplikovaný kodér lépe zvolí odpovídající kompresní mechanismus, a to má za důsledek lepší kvalitu obrazu pro odpovídající přenosovou rychlost. Existují také různé druhy MPEG-2 dekodérů, které nabízejí odlišné možnosti.

Dodání dat do kodérů lze provést různými způsoby, které lze rozdělit do dvou skupin v závislosti na tom, jak důkladně jsou data obdrženy z vyrovnávací paměti.

### 2.1.1 Profily MPEG-2

Je definováno množství úrovní a profilů pro MPEG-2 video komprese. Každý z nich představuje určitou podmnožinu z celkového systému, který je vyvíjen pro konkrétní účel.

- Profil definuje kvalitu videa
- Úroveň definuje rozlišení videa

Základní systém je znám jako Main Profile Main Level (MP@ML) který vytváří video kompresi od rychlostí 1-15 Mbps. Pak jsou zde další úrovně jako například High Level, High Level-1440 a Low Level. Stejně jako jsou zde další profily, pro příklad Simple, SNR, Spatial,

4:2:2 a High. MPEG-2 také poskytuje podporu pro přenášená data, respektive informace o nich. Existují dva typy:

- Informace o službě – údaje o videu, zvuku, a přenášených datových prouděch.
- Soukromé informace – údaje pro jednoho nebo více uživatelů

MPEG-2 zahrnuje širokou škálu kompresních mechanismů. Proto musí být vhodně zvolen kodér a kompresní mechanismus pro jednotlivé scény nebo sekvence scén. Obecně platí, že více komplikovaný kodér lépe zvolí odpovídající kompresní mechanismus, a to má za důsledek lepší kvalitu obrazu pro odpovídající přenosovou rychlost. Existují také různé druhy MPEG-2 dekodérů, které nabízejí odlišné možnosti. Dodání dat do kodérů lze provést různými způsoby, které lze rozdělit do dvou skupin v závislosti na tom, jak důkladně jsou data obdrženy z vyrovnávací paměti. [19]

## 2.2 MPEG-4 H.264

MPEG-4 Part 10 (jinak taky AVC) je jeden z nejznámějších modifikací MPEG-4. Byl navržen pro systémy s vysokým rozlišením (HD) jako jsou například domácí kina, nicméně umožňuje také specifikace pro videa s nižší kvalitou pro širokou škálu přenosných zařízení a aplikací. Definiuje video kódování mobilních telefonů a mediálních přehrávačů, střední rozlišení a datový tok srovnatelný s DVD, kódování filmů s vysokým rozlišením pro HDTV, Blu-ray a HD DVD. Stejně jako MPEG-2 a MPEG-4 AVS4, je H.264 rozdělený na množství profilů. V první řadě určuje, kterou funkci konkrétní zařízení nebo třída zařízení (například 3G mobilní telefony) podporuje daná varianta. Některé pokročilé funkce kladou poměrně větší nároky na zátěž procesoru, a proto nejsou vhodné zařízení jako mobilní telefony nebo přenosné přehrávače. Naopak některé funkce, jako například vysoké rozlišení, jsou pro určitá zařízení zbytečná.

I když jsou všechny MPEG-4 navrženy pod stejným standardem, neznamená to, že jsou identické. H.264 je značení kodeku pod kterým je MPEG-4 Part 10 navržen. Skutečná realizace spočívá právě v kodecích, které zahrnují celou nebo jen určitou část funkce celého systému. I v rámci jednoho kodeku je obvykle možno řídit rychlost kódování dat, protože hodnot má přijatelný rámec chybovosti, což umožňuje různé úrovně přesnosti jednotlivých výpočtů.[13]

V roce 2013 představila skupina MPEG standard H.265, známý také jako High Efficiency Video Coding (HEVC). Tento nový formát kódování snižuje datový tok oproti předchůdci H.264 na polovinu při zachování porovnatelné obrazové kvality, a je schopen zpracovávat rozlišení až 7 680x 4 320 pixelů. Docílí se tak rychlejšího streamování HD videa v sítích s malou šířkou pásma, které najde využití například pro uživatele smartphonů.[21]

### 2.3 MPEG-4 AVS4

Jinak taky nazýván jako MPEG-4 Part 2, je kombinací standardního a objektového kódování. Byl představen v roce 1998 a je vylepšenou verzí populárního MPEG-2, a to jak z hlediska přesnosti, tak také flexibility. Toho dosahuje dvěma cestami. Jako první je využívání výhodnějšího kompresního algoritmu, dále pak obsahuje rozsáhlý soubor nástrojů pro kódování digitálních médií. Jedna z klíčových vlastností, která rozlišuje MPEG-4 AVS od starších typů kódování je schopnost postupně prokládat video sekvence, kódování video objektů (nerovnoměrně tvarované oblasti video scény), podpora efektivního přenosu přes síť, kódování pevné textury (obrázková data), kódování animovaných vizuálních objektů jako jsou 2D a 3D polygonální mřížky, animace obličejů a částí lidských těl, kódování pro speciální aplikace, například videa ve studiové kvalitě.[13]

### 2.4 Kompresní ztráty

Pojem kompresní algoritmy tvoří skupina metod, respektive postupů zabývajících se řešením problematiky snížení objemu dat, ať už při ukládání do paměti, nebo při zmenšení datového toku při přenosu. V závislosti na požadavcích a náročnosti konkrétní služby na přenesená data rozlišujeme kompresi na ztrátovou a bezztrátovou.

U ztrátové komprese jsou výsledná data, ať už ve větší nebo menší míře pozměněna či vypuštěna za účelem dosažení vyššího kompresního poměru, a při dekompresi již nejdou znovu získat. Typickým příkladem je přenos obrazu a zvuku, kde je možné ztrátu menšího množství dat tolerovat za účelem co největšího zmenšení datového toku. Ztracená data jsou často pro lidské oko nebo ucho nezaznamatelná, při větší ztrátě může dojít ke zřetelnějšímu zkreslení, které ovšem v případě audio a video přenosu není bráno jako zásadní kritérium při komprimaci datového toku.



Pokud jsou při dekompresi přijímány totožné informace, jaké byly při odesílání nebo ukládání komprimovány, hovoříme o bezztrátové kompresi. Patří mezi ně většina základních kompresních metod. Účinnost bezztrátových metod bývá v zásadě nižší než u ztrátových. To je způsobeno faktem, že je kladen důraz na naprostou shodu dekomprimovaných dat s daty původními.

Kompresní poměr je termín, který určuje poměr původních dat a dat po překódování kompresním algoritmem. Závisí na zvolené kompresní metodě i typu kódovaných dat. Hodnota 2/1 znamená, že objem dat se zmenšil na polovinu, 4/1 na čtvrtinu atd.[16]

## 3 Metody pro hodnocení kvality

### 3.1 Objektivní metody

Objektivní ohodnocení zahrnuje použití metrických výpočetních metod, které tvoří “skóre” kvality hodnoceného videa. Tyto metody měří fyzikální charakteristiky video signálu, jako je například amplituda, časování a odstup signálu a šumu. V následující kapitole proberem jedny z nejznámějších metod:

- Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)
- Video Quality Metric (VQM)
- Structural Similar Index (SSIM)
- MDI
- MSE

[7]

#### 3.1.1 VQM

VQM metoda počítá viditelné části vyjádřené DTC oblastí. Obrázek (obr. 3.1) ukazuje blokový diagram VQM popsán v devíti krocích. Vstup pro metodu je dvojice barevných obrazových sekvencí – odkaz na originální a testovanou část. Po přijetí sekvence je testovací část převedena z původních barev do barevného prostoru YOZ. Následuje transformace do DTC bloků a převedení do jednotek vlastního kontrastu. V dalším kroku je vstup sekvence podroben časovému filtrování, které tvoří časovou funkci citlivosti kontrastu. DTC součty, vyjádřeny ve vlastní kontrastové formě, jsou převedeny na takzvané JNDS, vydělením jejich prostorových limitů, a tvoří tím prostorovou část citlivosti kontrastu. V dalším kroku, po převedení na JNDS, jsou od sebe vytvořené a původní sekvence odečteny. Následně je kontrast sekvence maskován.

V posledním kroku je takto vytvořená maska zhodnocena a všechny rozměry sečteny a vyjádřeny v hodnotě viditelné chyby. Výstupní hodnota VQM metody vyjadřuje velikost zkreslení sekvence, pro nezkreslené video hodnota odpovídá nule a při zhoršování kvality přímo úměrně roste se zvyšující se chybovostí.[7][13][14]



Obrázek 3.1: Blokový diagram metody VQM[7]

### 3.1.2 PSNR a MSE

PSNR vyjadřuje poměr mezi maximální možnou energií signálu a energií šumu. Je vyjádřeno v logaritmickém měřítku z toho důvodu, že odlišné signály mají různé dynamické spektrum. PSNR v decibelech je definováno vzorcem[14]:

$$PSNR = 10 \log \frac{m^2}{MSE} [dB] \quad (1.1)$$

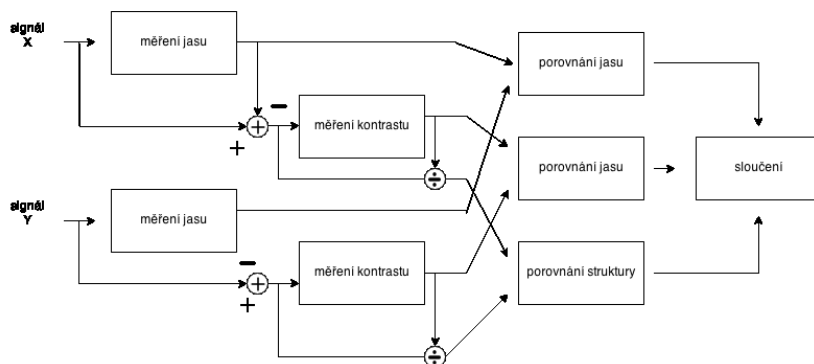
Kde  $m$  je maximální hodnota vyjádřená pixelem (například 255 pro 8-bitový obrázek) a MSE vyjadřuje rozdíl úrovně šedé na druhou mezi dvěma obrázky nebo videosekvencemi  $I$  a  $\tilde{I}$  pro obrázek velikosti  $X \times Y$  a  $T$  rámce. Technicky vzato, MSE vyjadřuje rozdílnost obrazu, zatímco PSNR vyjadřuje jeho totožnost. Nejsilnější stránkou PSNR metody je lehký a rychlý výpočet. Vyjádření MSE pomocí vzorce[14]:

$$MSE = \frac{1}{TXY} \sum_t \sum_x \sum_y [I(t, x, y) - \tilde{I}(t, x, y)]^2 \quad (1.2)$$

### 3.1.3 SSIM

Metoda SSIM zahrnuje tři komponenty – podobnost svítivosti, odpovídající kontrast a odpovídající struktura (obr 3.2). Kombinací těchto tří faktorů vzniká jedna hodnota, která demonstruje kvalitu testovaného videa. Tato metoda se od předcházejících odlišuje hodnocením strukturálního zkreslení namísto chybovosti. Hlavním důvodem tohoto rozdílu je vlastnost lidského zrakového systému vnímat mnohem lépe změny zkreslení u struktury obrazového pole,

než jeho chybovost. Vzhledem k tomu dosahuje SSIM metoda dobrou souvztažnost k subjektivnímu dojmu. Ohodnocení je definováno v intervalu  $[0-1]$ , kde 0 značí nejhorší hodnotu a 1 nejlepší (identita).[7][13]



Obrázek 3.2: *Blokový diagram metody SSIM[20]*

### 3.2 MDI

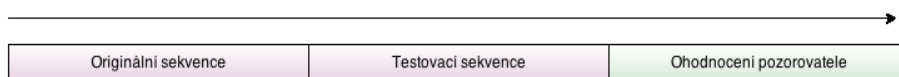
Parametr MDI (Media delivery index) hledá a charakterizuje problémy v síti, které nepříznivě ovlivňují kvalitu toku přenášeného toku. Zobrazuje se jako dvě čísla oddělená tečkou, kde první číslo značí faktor zpoždění (DF factor) a druhé poměr ztrátovosti (MLR – media loss rate).

Delay factor udává, jak velká musí být vyrovnávací paměť, aby bylo eliminováno zpoždění, udává se v milisekundách. S každým přijatým paketem se vypočítává rozdíl mezi přijatými a zpracovanými byty. Media loss rate vyjadřuje počet ztracených paketů nebo paketů mimo pořadí za sekundu. Ty jsou důležité, protože zařízení nepřeořizuje pakety před doručení k dekodéru. Pokud je MLR nenulový, nepříznivě ovlivňuje kvalitu videa a výsledný obraz může být deformovaný. Všechny ztracené pakety se viditelně projeví v přehrávaném streamu.[11]

### 3.3 Subjektivní metody

Subjektivní metody posuzují videosekvence podle vlastního ohodnocení jednoho nebo skupiny pozorovatelů. Původní video a jednotlivé poškozené sekvence jsou daným osobám zobrazovány postupně nebo v přeházeném pořadí v závislosti na konkrétní hodnotící metodě (obr. 3.3).

metoda DSIS



metoda DSCQS



metoda ACR



Obrázek 3.3: *Příklady zobrazování videosekvencí[7]*

Následně provede každý pozorovatel vyhodnocení podle předem daných tabulek, většinou od stupně 1-5, kde se taktéž jednotlivé stupně liší v použité metodě. Příklad ohodnocovací stupnice (ACR)[7]:

1. Vynikající
2. Dobrý
3. Slušný
4. Špatný
5. Mizerný

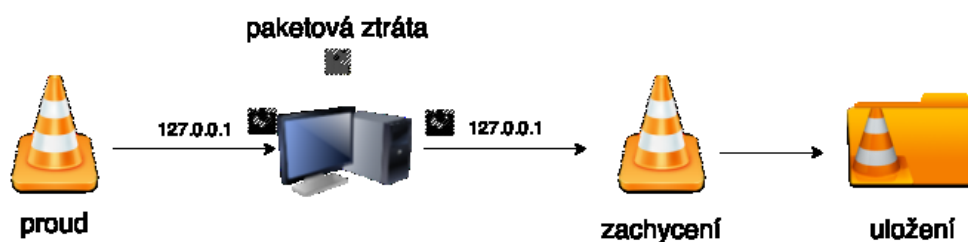
Měření probíhá v přesně stanovených podmínkách jako je například viditelnost, rozměry místnosti, vzdálenost od obrazovky a podobně. Pro korektnost měření nesmí být tyto podmínky porušeny, přesněji jsou popsány v dokumentu ITU.T Recommendation P.800[15].[7]

## 4 Měření vlivu ztrátovosti na kvalitu videa

Cílem měření bylo simulovat vliv paketové ztráty pro video formáty MPEG-2 a MPEG-4, zjistit pomocí objektivních metod pro měření kvality videa dopad na výsledný obraz, a výsledky porovnat. Měření jsme provedli pro jedno statické a jedno dynamické video o délce 20 sekund. Obě videosekvence jsme měřili v rozlišeních 720 x 576(PAL), 1 280 x 720(WXGA) a 1 920 x 1 080(Full HD). Pro hodnocení kvality jsme použili metody SSIM, PSNR, VQM, a MSE. Celkem jsme tedy provedli 480 porovnání. Tyto metody jsme kalkulovali pomocí programu MSU VQM Tools.

### 4.1 Vysílání proudů

Jako první krok jsme vytvořili v programu VLC Player proud, který vysílal na lokální rozhraní počítače s adresou 127.0.0.1 video stream. Pomocí dalšího VLC Playeru jsme stream na tomto rozhraní zachytávali a ukládali na disk. Takto přenesené video jsme si uložili a označili jako původní video. Pomocí programu Netem jsme na dané rozhraní nastavili paketovou ztrátu 1% a celé měření zopakovali. Následně jsme tento krok opakovali pro paketové ztráty po krocích 1%,2%,...,10% (obr. 4.1).



Obrázek 4.1: *Postup měření*

### Konfigurace programu NETEM

```
penty-virtual-machine penty# tc qdisc add dev lo root netem loss 1%
```

*Nastavení paketové ztráty na lokální rozhraní*

```
penty-virtual-machine penty# tc qdisc change dev lo root netem loss 2%
```

*Změna paketové ztráty na lokálním rozhraní*

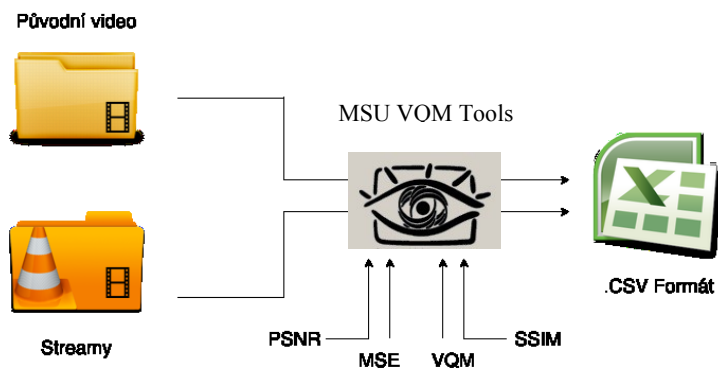
Videa pro měření byli v daných formátech, proto jsme při vytváření ani zachytávání proudu nenastavovali žádné další překódování. Také nastavení datového toku zůstalo na automatické hodnotě.

Použité kodeky	MPEG-2, H.264
Rozlišení(pixely)	720 x 576, 1 280 x 720, 1 920 x 1 080
Vyhodnocovací metody	PSNR, SSIM, VQM, MSE

Tabulka 4.1: *Parametry pro měření*

## 4.2 Hodnocení výsledků

Pomocí scriptu v programu AVIsynth jsme načetli původní video a proud s paketovou ztrátou do programu MSU VQM Tools. V programu MSU jsme nastavili požadovanou metodu pro vyhodnocení a výsledky exportovaly do tabulek v CSV formátu (obr. 4.2). Ze všech hodnot v tabulce jsme vypočítali průměrnou hodnotu a zapsali k měřenému typu videa, formátu, rozlišení a konkrétní paketové ztrátě. Každá výsledná tabulka obsahovala u dynamického videa 621 hodnot a u statického 204. Aritmetickým průměrem těchto hodnot jsme získali výsledné ohodnocení každé měřené sekvence.



Obrázek 4.2: Porovnání streamu a původního videa

### 4.3 Naměřené výsledky

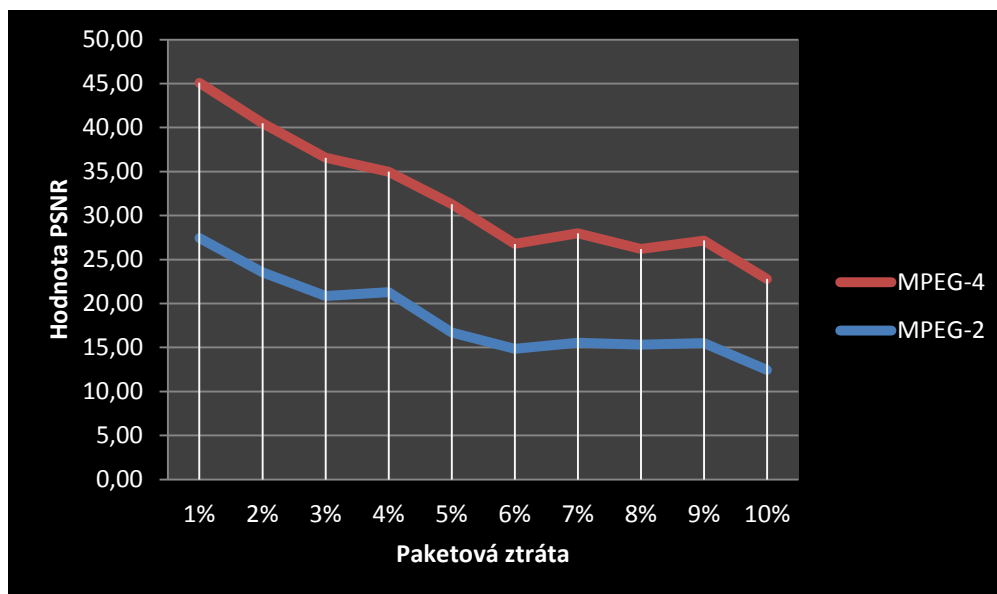
Jako první metodu pro porovnání jsme si zvolili Peak to Signal-noise-ratio. Co se časové náročnosti týče, rychlost je jednou z největších výhod metody PSNR. Z naměřených hodnot a výsledného grafu lze pozorovat výraznější vliv ztráty paketů na MPEG-4. Již u jednoprocetové ztráty se hodnota PSNR rovnala přibližně polovině hodnoty MPEG-2.

#### 4.3.1 PSNR

Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	27,45	17,64
2%	23,54	16,95
3%	20,87	15,70
4%	21,29	13,70
5%	16,70	14,60
6%	14,85	11,92
7%	15,54	12,45
8%	15,34	10,86
9%	15,51	11,65
10%	12,46	10,33

Tabulka 4.2: Výsledky měření [parametry: statické video, 1 920x1 080, PSNR]





Obrázek 4.3: Srovnání metodou PSNR

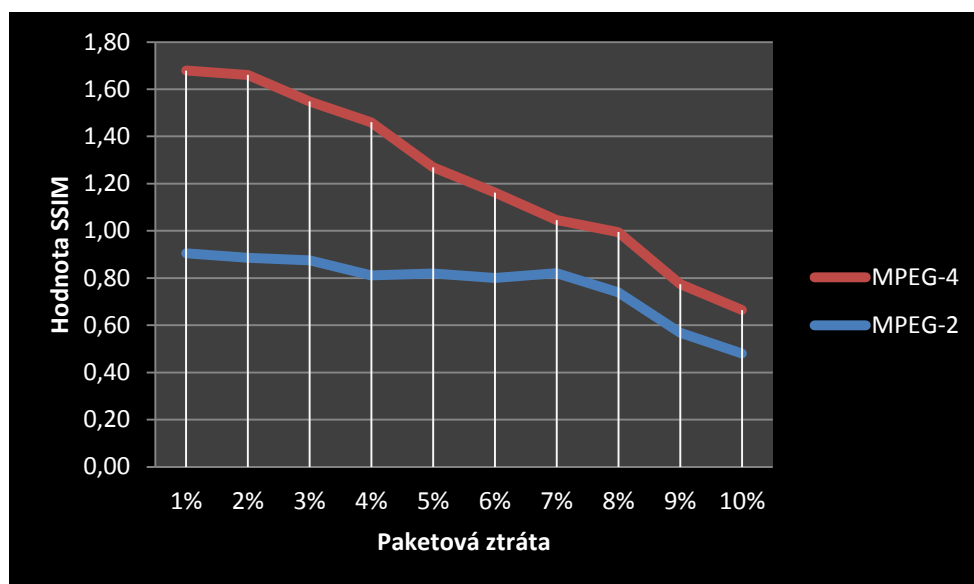
Hodnota mezi jednotlivými proměřenými kroky nebyla vždy v poklesu, ale mohla se u některých sousedních kroků mírně lišit. Příčinou je délka jednotlivých streamů. Při přenosu v našem případě relativně krátkých videosekvencí (20 sekund), neodpovídají jednotlivé délky streamů přesně u všech stejné hodnotě. I když jsou odchylky, které vznikají jak samotným streamem, tak aplikovanou paketovou ztrátou na rozhraní, velmi malé, metody jsou tak přesné, že je ve výsledném ohodnocení lze nepatrně pozorovat. Metody sice porovnávají stejný počet hodnot u každého jednotlivého streamu, nicméně časovým posunem jednotlivých rámců se mohlo při měření stát, že program vyhodnotil v jeden okamžik rámeček z jedné videosekvence, který úplně neodpovídal rámcům z druhé videosekvence. Stejně tomu bylo v některých případech zbylých 3 metod.

#### 4.3.2 SSIM

Další z použitých metod je SSIM. Tak jako v předchozím případě, lepších hodnot dosahoval při ztrátách kodek MPEG-2. Metoda SSIM je přesnější než metoda PSNR, nicméně zpracování trvá několikanásobně déle, kde navíc délka vyhodnocení výrazně roste s růstem rozlišení.

Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	0,91	0,77
2%	0,89	0,78
3%	0,88	0,67
4%	0,81	0,65
5%	0,82	0,45
6%	0,80	0,36
7%	0,82	0,23
8%	0,74	0,26
9%	0,57	0,21
10%	0,48	0,18

Tabulka 4.3: Výsledky měření [parametry: statické video, 1 920x1 080, SSIM]



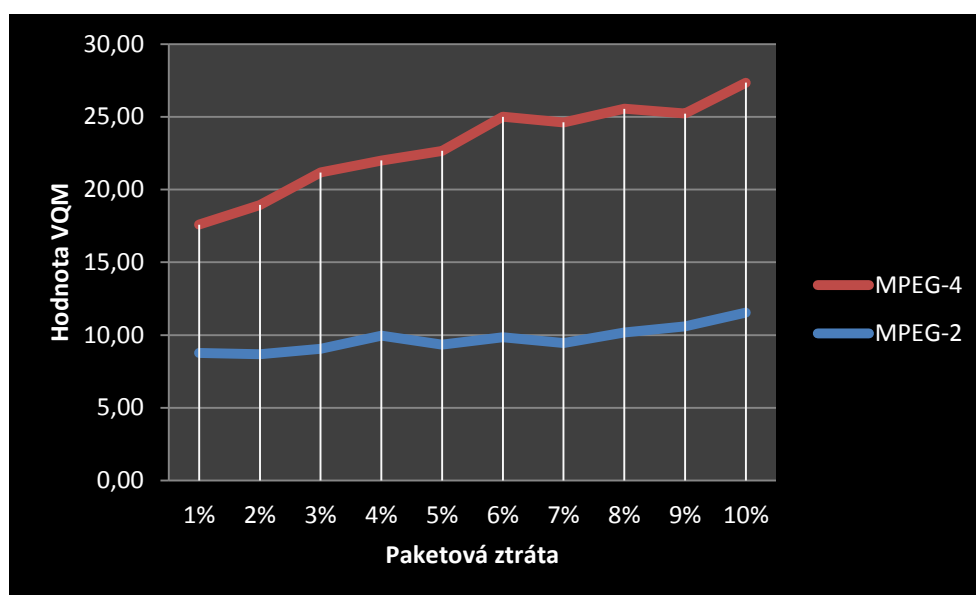
Obrázek 4.4: Srovnání metodou SSIM

### 4.3.3 VQM

V dalším měření můžeme pozorovat vliv ztráty při posouzení metodou VQM. Při nejnižší ztrátě byly hodnoty obou kodeků téměř totožné, v dalších krocích se začaly výsledky pro u MPEG-4 výrazně rychleji zvyšovat než v případě MPEG-2.

Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	8,76	8,83
2%	8,67	10,26
3%	9,06	12,11
4%	9,97	12,03
5%	9,33	13,32
6%	9,85	15,16
7%	9,45	15,16
8%	10,19	15,36
9%	10,60	14,63
10%	11,54	15,80

Tabulka 4.4: *Výsledky měření [parametry: dynamické video, 1 920x1 080, VQM]*



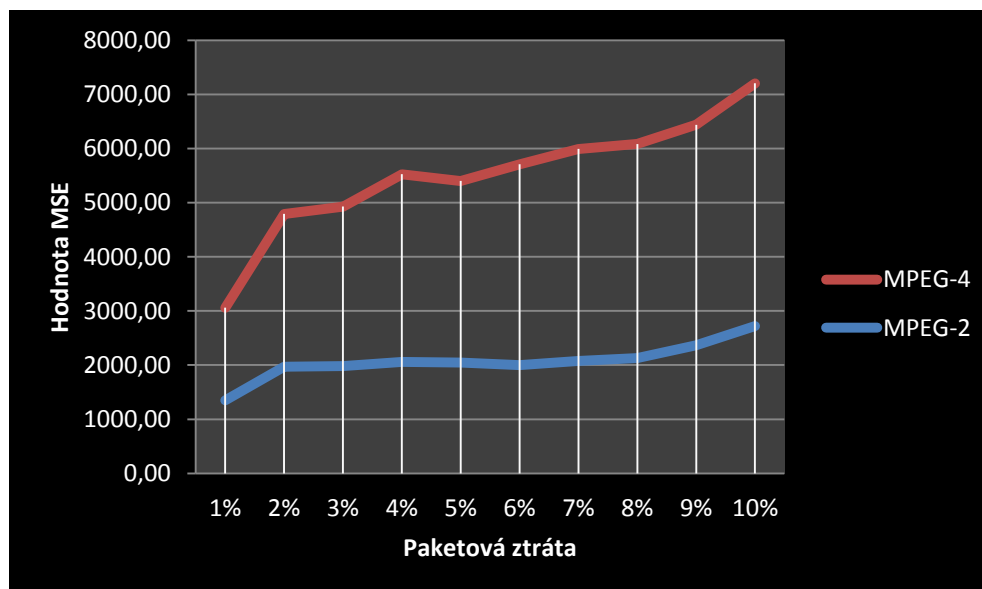
Obrázek 4.5: *Srovnání metodou VQM*

#### 4.3.4 MSE

Metoda MSE zaznamenala podobný průběh jako předchodzí VQM. Při zatížení proudu jednoprocetovou ztrátou bylo zkreslení u obou algoritmů téměř stejné, ale již v dalším kroku jsme zaznamenali značný rozdíl mezi ohodnocením videosekvence.

Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	1351,57	1707,56
2%	1969,87	2822,26
3%	1980,18	2947,77
4%	2061,23	3462,01
5%	2049,48	3351,43
6%	2001,81	3704,70
7%	2074,09	3916,49
8%	2127,51	3955,97
9%	2365,63	4071,99
10%	2723,95	4480,89

Tabulka 4.5: Výsledky měření [parametry: dynamické video, 1 920x1 080, MSE]



Obrázek 4.6: Srovnání metodou MSE

### Vliv ztráty paketů na MPEG-2



původní video



3%



7%



10%

Obrázek 4.7:

*Vizuální ovlivnění MPEG-2*

### Vliv ztráty paketů na MPEG-4



*původní video*



*3%*



*7%*



*10%*

Obrázek 4.8:

*Vizuální ovlivnění MPEG-4*

Na obrázku (obr. 4.9) můžeme vidět výsledné zkreslení obrazu MPEG-2 pro vybrané paketové ztráty. Jak můžeme pozorovat, u 3% ztracených paketů byl obraz téměř neporušen, u nejvyšší (10%) byl stále relativně pozorovatelný. U vyšší citlivosti komprese byl dopad na obraz u MPEG-4 viditelně výraznější (obr. 4.10). Již u 7% ztráty je video pro člověka velmi špatně pozorovatelné, u 10% téměř nelze rozeznat konkrétní obsah videosekvence.

## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo porovnání dvou kompresních algoritmů MPEG-2 a MPEG-4 pomocí objektivních metod pro hodnocení kvality videa a zkoumání parametrů přenosového kanálu na celkovou kvalitu videa při přenosu.

V první části jsme provedli teoretický rozbor základních principů zpracování videa, protokolů pro video přenos a kompresních technologií všeobecně. Dále jsme si přiblížili základní postupy při kódování kompresními algoritmy MPEG-2 a MPEG-4. V další části teorie jsou popsány nejznámější objektivní metody pro hodnocení kvality obrazu, konkrétně SSIM, PSNR, MDI, VQM a MSE, a přiblížili si rozdíl mezi subjektivními a objektivními metodami hodnocení.

Druhá část se zabývá měřením dopadu paketové ztráty na video přenos. Přes uměle vytvořený stream jsme přenášeli statické a dynamické video jak v kompresi MPEG-2, tak v MPEG-4 kódování. Na vysílaný stream byla přes program Netem uměle nastavena paketová ztráta přes vysílané lokální rozhraní, videa byla postupně při předem zvolených ztrátách přenášena a proud byl zaznamenáván na výstupu rozhraní. Měřená videa byla streamována ve třech různých rozlišeních. Zaznamenané proudy jsme pomocí programu MSU VQM Tools otestovaly pomocí čtyř objektivních metod a výsledky zobrazili v tabulkách a grafech pro další porovnání. Po domluvě s vedoucím bakalářské práce to byly metody SSIM, PSNR, VQM a MSE.

Čtyři metody jsme zvolili proto, že každá metoda využívá k ohodnocení jiný metrický systém a jiné hodnotící tabulky. Důsledkem různých principů kódování můžeme vidět odlišnost hodnocení objektivních metod u jednotlivých videosekvencí. Standard MPEG-4 používá výrazně citlivější algoritmus na kódování jednotlivých paketů. Ztráta jednoho takto vytvořeného paketu se ve výsledném obraze projevuje podstatně výrazněji než u druhého hodnoceného algoritmu MPEG-2, a již při malých únicích paketů je obraz pro člověka nepozorovatelný.

Z realizovaného měření vyplývá, že nižší řada standardů MPEG-2 je vhodnější pro video přenosy kde se dají předpokládat ztráty informací. Zjistili jsme také, že přesnost měření streamu se odvíjí od délky streamovaného videa, protože zaznamenané proudy se při ukládání krátkých streamů mohou mírně lišit v délce trvání, což má negativní dopad na ohodnocení pomocí objektivních metod.

## Použitá literatura

- [1] EFAMSTER, N., BALAKRISHAN, H. [online]. [cit. 2014-05-03].  
Dostupné z:  
<http://nms.csail.mit.edu/papers/pv2002.pdf>
- [2] ITU-T Recommendation P.800 *itu.int* [online] . [cit. 2014-05-03] . Dostupné z:  
<https://www.itu.int/rec/T-REC-P.800-199608-I/en>
- [3] *Handbook of image and video processing*. 2nd ed. Editor Al Bovik. Burlington: Elsevir Academic Press, 2005, xv, 1372 s. ISBN 01-211-9792-1. pp. 24-33
- [4] 4:4:4 Versus 4:2:2 Color Sampling. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z:  
<http://www.sounddevices.com/notes/pix/444-vs-422-color-sampling/>
- [5] KULKARNI, Sanjeev R. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z:  
[http://www.princeton.edu/~cuff/ele201/kulkarni\\_text/digitizn.pdf](http://www.princeton.edu/~cuff/ele201/kulkarni_text/digitizn.pdf)
- [6] *Handbook of image and video processing*. 2nd ed. Editor Al Bovik. Burlington: Elsevir Academic Press, 2005, xv, 1372 s. ISBN 01-211-9792-1. pp. 601-606
- [7] UHRINA, Miroslav. [online]. [cit. 2014-05-03]. DOI: Correlation between Objective and Subjective Methohods Used for Video Quality Evaluation
- [8] KREJČÍ, J. a T. ZEMAN. Hodnocení kvality IPVT . [online]. [cit. 2014-05-03].  
Dostupné z:  
<http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010050004>
- [9] PUŽMANOVÁ, Rita. *Širokopásmový Internet: přístupové a domácí sítě*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2004, 377 s. ISBN 80-251-0139-8.
- [10] PUŽMANOVÁ, Rita. *TCP/IP v kostce*. 1. vyd. České Budějovice: Kopp, 2004, 607 s. ISBN 80-723-2236-2.
- [11] ŠVIHEL, Petr. Do hlubin formátu MPEG-2. [online]. 2006 [cit. 2014-05-03].  
Dostupné z:  
<http://www.digizone.cz/clanky/do-hlubin-formatu-mpeg-2/>
- [12] RICH, Fiscus. Digital Video Fundamentals. [online]. 2006 [cit. 2014-05-03].  
Dostupné z:  
[www.afterdawn.com/guides/archive/digital\\_video\\_fundamentals-mpeg-2\\_encoding\\_page\\_2.cfm](http://www.afterdawn.com/guides/archive/digital_video_fundamentals-mpeg-2_encoding_page_2.cfm)



- [13] UHRINA, Miroslav. Impact of Compression on the Video Quality. [online]. 2006 [cit. 2014-05-03].
- [14] WANG, Yubing. Survey of Objective Video Quality Measurements. [online]. 2006 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z:  
<ftp://ftp.cs.wpi.edu/pub/techreports/pdf/06-02.pdf>
- [15] ITU-T Recommendation P.800. [online]. 2006 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z:  
<https://www.itu.int/rec/T-REC-P.800-199608-I/en>
- [16] MITROVIC, Djordje. Video Compression. [online]. 2006 [cit. 2014-05-03]. University of Edinburgh. Dostupné z:  
[http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL\\_COPIES/AV0506/s0561282.pdf](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/AV0506/s0561282.pdf)
- [17] MPEG-Part 10. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z:  
[http://www.afterdawn.com/glossary/term.cfm/mpeg\\_4\\_part\\_10](http://www.afterdawn.com/glossary/term.cfm/mpeg_4_part_10)
- [18] FAIRHURST, Gory. MPEG-2 video compression. [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z:  
<http://www.erg.abdn.ac.uk/future-net/digital-video/mpeg2.html>
- [19] *Handbook of image and video processing* 2nd ed. Editor Al Bovik. Burlington: Elsevier Academic Press, 2005, xv, 1372 s. ISBN 01-211-9792-1. pp. 646-649
- [20] FRNDA, Jaroslav. *Výpočetní model pro hodnocení kvality triple-play služeb: Diplomová práce*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2013. Dostupné z:  
[http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/98491/FRN020\\_FEI\\_N2647\\_2612T059\\_2013.pdf?sequence=1](http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/98491/FRN020_FEI_N2647_2612T059_2013.pdf?sequence=1)
- [21] OZER, Jan. What Is HEVC. [online]. 2013 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z:  
[http://www.streamingmedia.com/Articles/Editorial/What-Is-.../What-Is-HEVC-\(H.265\)-87765.aspx](http://www.streamingmedia.com/Articles/Editorial/What-Is-.../What-Is-HEVC-(H.265)-87765.aspx)

---

## Seznam příloh

Příloha A:	Naměřené hodnoty statického videa.....	xliii
Příloha B:	Naměřené hodnoty dynamického videa .....	liv

Součástí BP/DP je DVD.

Adresářová struktura přiloženého DVD:

- BP – SKR0030.pdf – Bakalářská práce

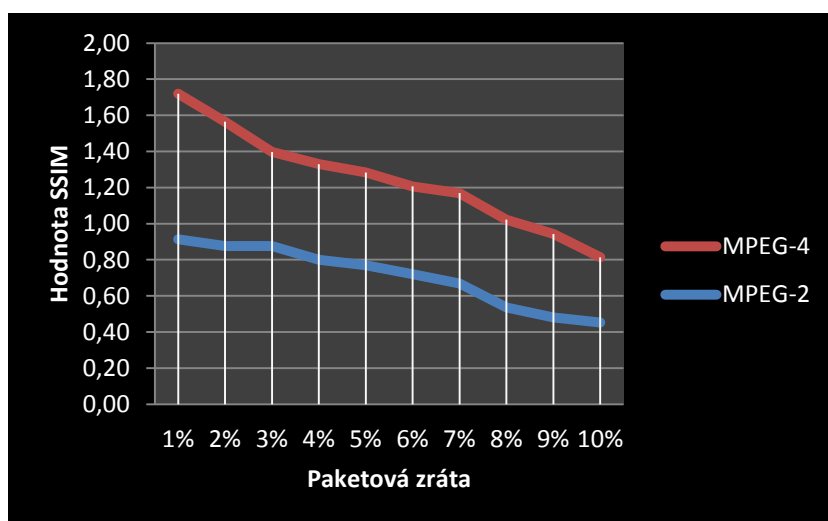
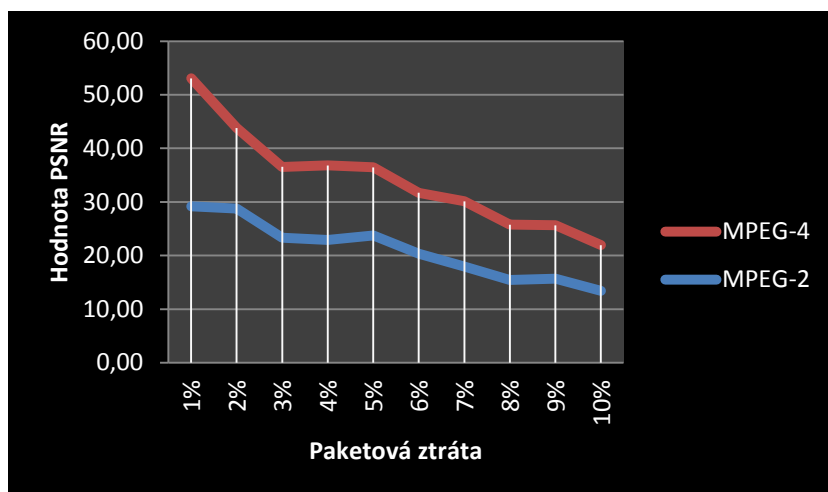
---

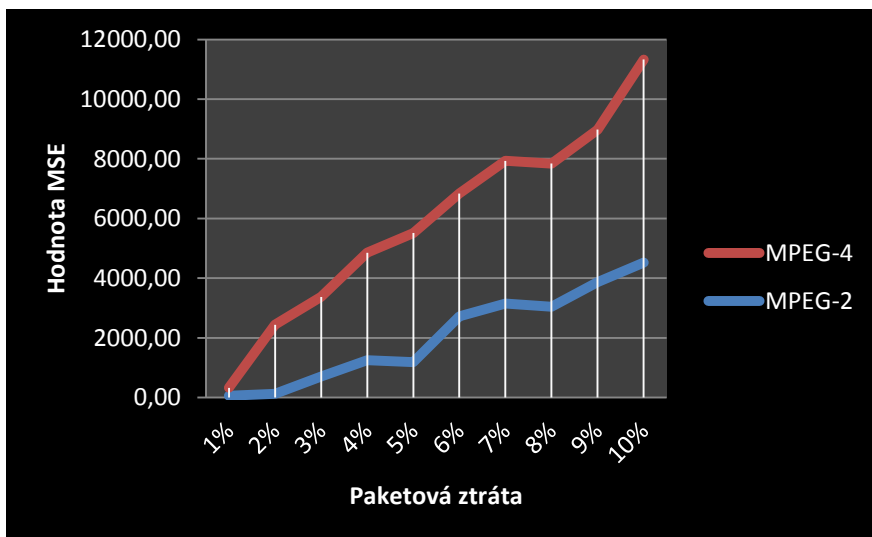
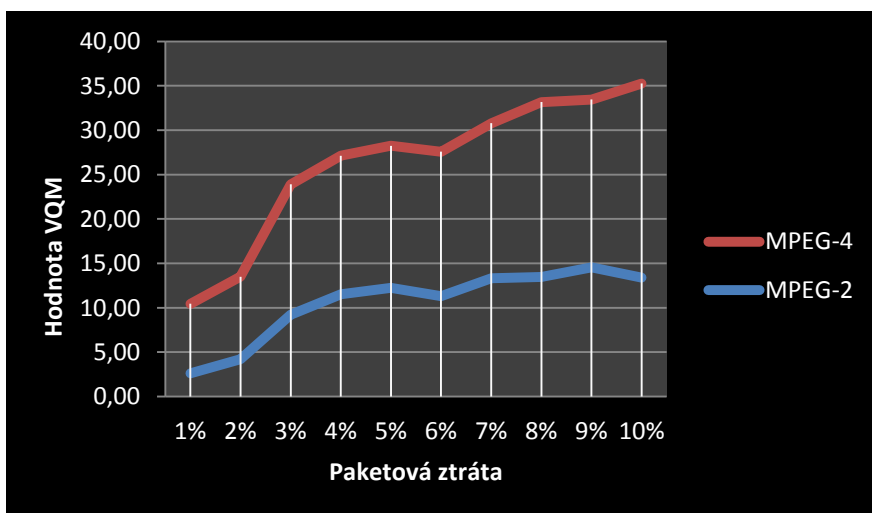
Příloha A: *Naměřené hodnoty statického videa*

**Rozlišení 720x576**

PSNR		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	29,20	23,85
2%	28,74	15,05
3%	23,33	13,21
4%	22,90	13,90
5%	23,74	12,72
6%	20,37	11,34
7%	17,98	12,13
8%	15,44	10,33
9%	15,68	9,97
10%	13,40	8,55
SSIM		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	0,91	0,81
2%	0,88	0,69
3%	0,88	0,52
4%	0,80	0,53
5%	0,77	0,51
6%	0,72	0,49
7%	0,67	0,50
8%	0,54	0,49
9%	0,48	0,46
10%	0,45	0,36
VQM		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	2,62	7,82
2%	4,22	9,28
3%	9,20	14,70
4%	11,51	15,61
5%	12,24	15,99
6%	11,30	16,28
7%	13,33	17,45
8%	13,46	19,70
9%	14,55	18,89
10%	13,41	21,84

MSE		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	57,69	268,51
2%	129,59	2307,81
3%	702,69	2670,38
4%	1255,97	3595,86
5%	1182,12	4332,64
6%	2717,20	4118,19
7%	3145,89	4787,67
8%	3038,72	4801,82
9%	3874,29	5104,16
10%	4518,85	6806,06



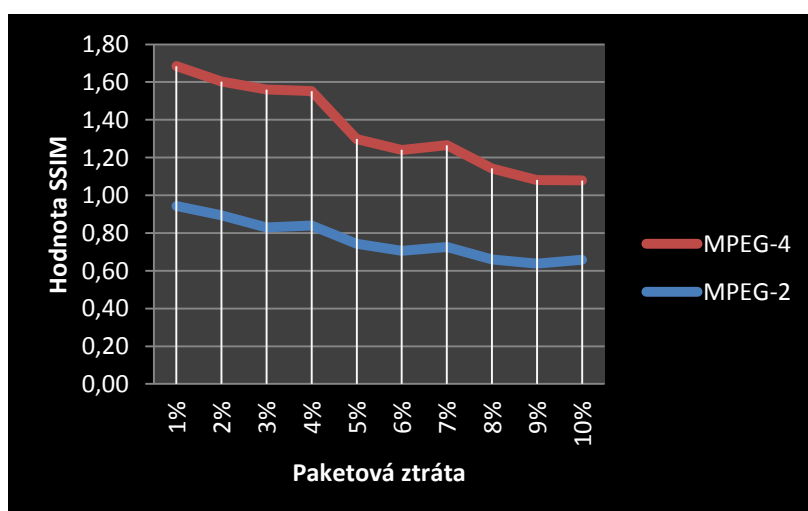
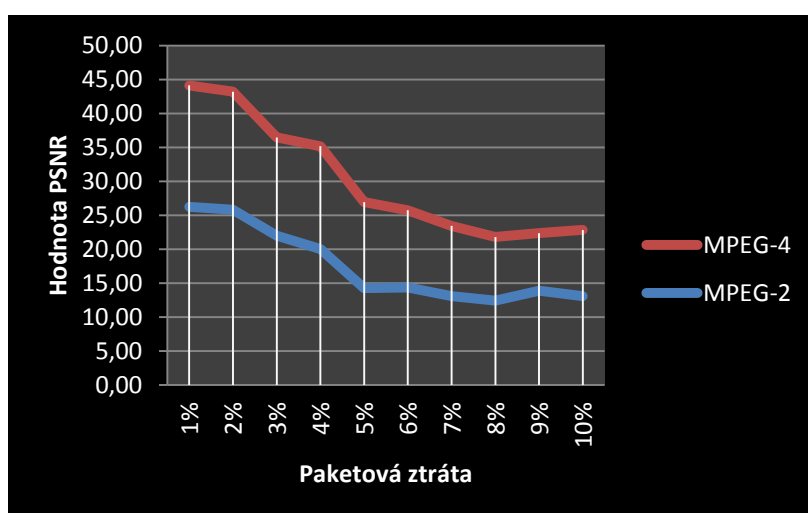


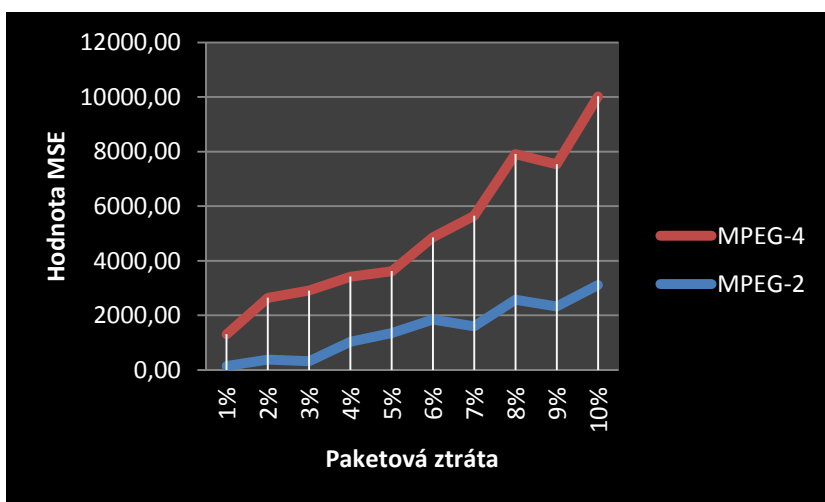
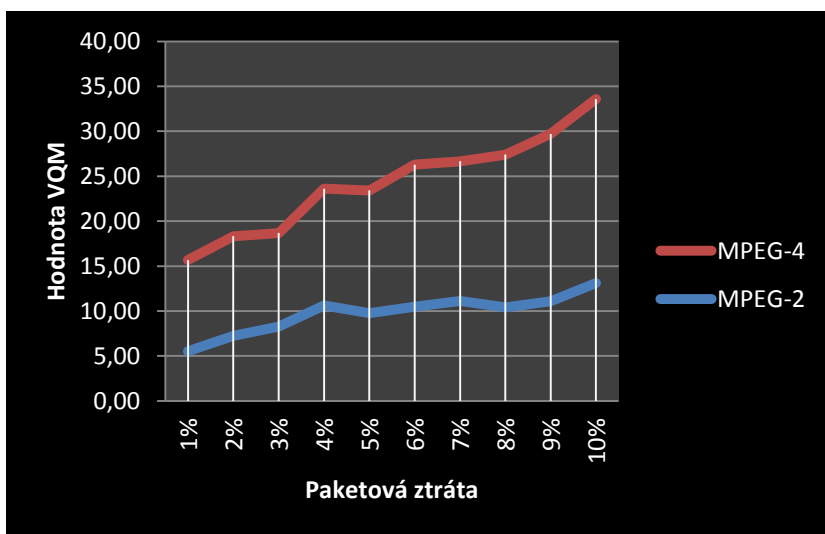
---

**Rozlišení 1 280x720**

PSNR		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	26,26	17,88
2%	25,84	17,36
3%	22,03	14,44
4%	20,04	15,13
5%	14,29	12,64
6%	14,37	11,37
7%	13,09	10,35
8%	12,43	9,37
9%	13,91	8,46
10%	13,08	9,77
SSIM		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	0,94	0,74
2%	0,89	0,71
3%	0,83	0,73
4%	0,84	0,71
5%	0,74	0,56
6%	0,71	0,53
7%	0,73	0,54
8%	0,66	0,48
9%	0,64	0,44
10%	0,66	0,42
VQM		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	5,53	10,14
2%	7,23	11,10
3%	8,29	10,39
4%	10,61	13,00
5%	9,78	13,64
6%	10,47	15,82
7%	11,14	15,52
8%	10,40	17,01
9%	11,10	18,61
10%	13,12	20,46

MSE		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	146,80	1162,54
2%	382,18	2266,56
3%	322,90	2586,11
4%	1034,74	2383,55
5%	1348,15	2271,89
6%	1850,79	3003,07
7%	1603,10	4046,16
8%	2567,91	5344,58
9%	2327,01	5207,26
10%	3113,43	6906,96





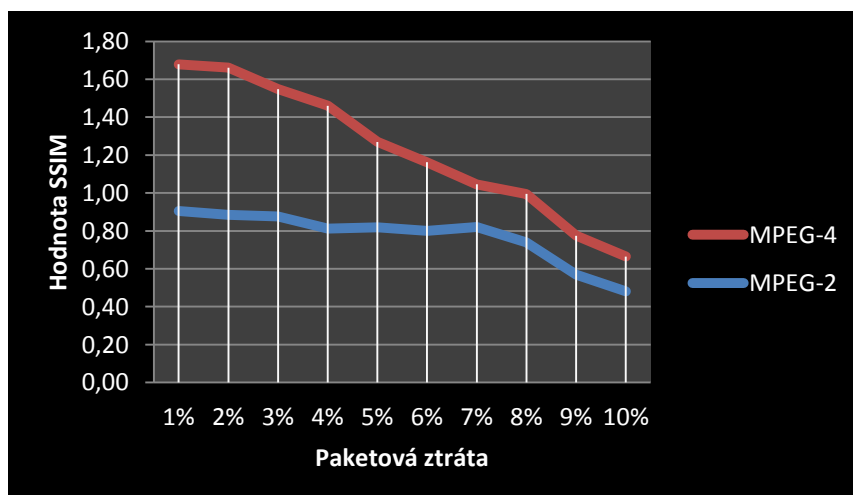
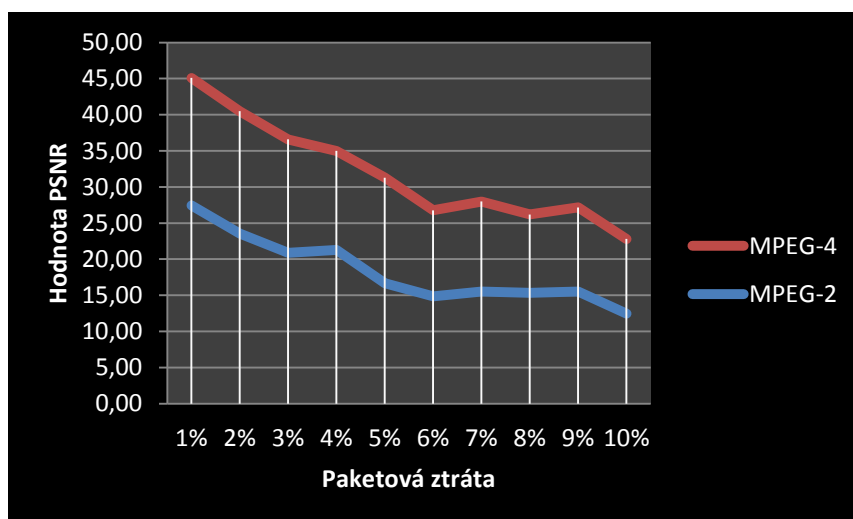


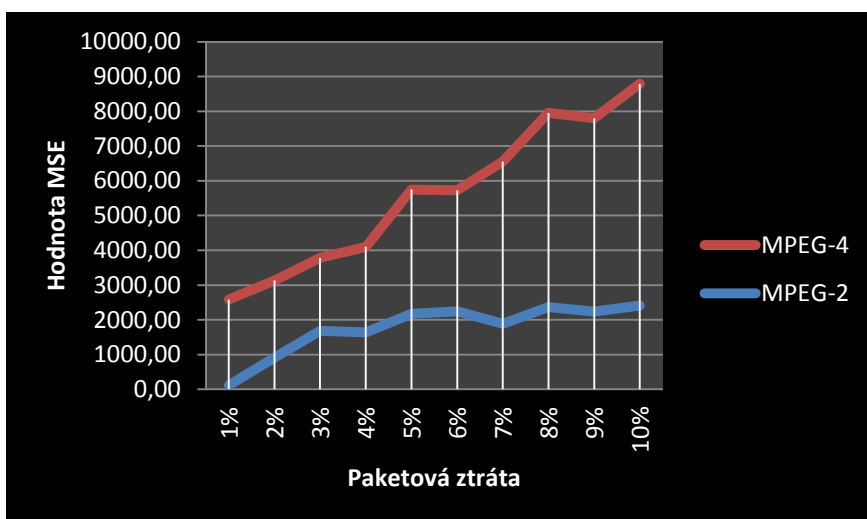
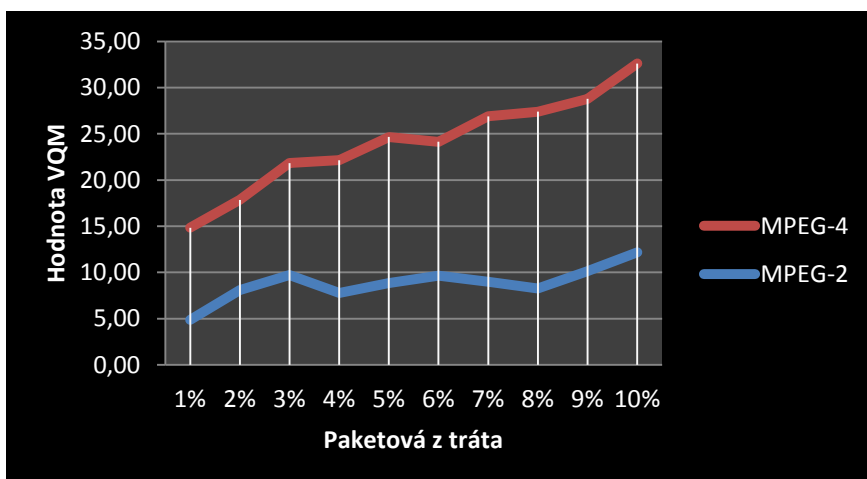
---

**Rozlišení 1 920x1 080**

PSNR		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	27,45	17,64
2%	23,54	16,95
3%	20,87	15,70
4%	21,29	13,70
5%	16,70	14,60
6%	14,85	11,92
7%	15,54	12,45
8%	15,34	10,86
9%	15,51	11,65
10%	12,46	10,33
SSIM		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	0,91	0,77
2%	0,89	0,78
3%	0,88	0,67
4%	0,81	0,65
5%	0,82	0,45
6%	0,80	0,36
7%	0,82	0,23
8%	0,74	0,26
9%	0,57	0,21
10%	0,48	0,18
VQM		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	4,87	9,96
2%	8,07	9,78
3%	9,71	12,11
4%	7,77	14,37
5%	8,85	15,80
6%	9,64	14,49
7%	8,97	17,91
8%	8,26	19,13
9%	10,14	18,64
10%	12,16	20,44

MSE		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	116,71	2469,66
2%	909,31	2221,26
3%	1682,63	2097,67
4%	1637,63	2460,15
5%	2172,68	3575,46
6%	2249,83	3476,00
7%	1890,15	4661,52
8%	2361,75	5591,36
9%	2234,73	5560,34
10%	2409,46	6383,12





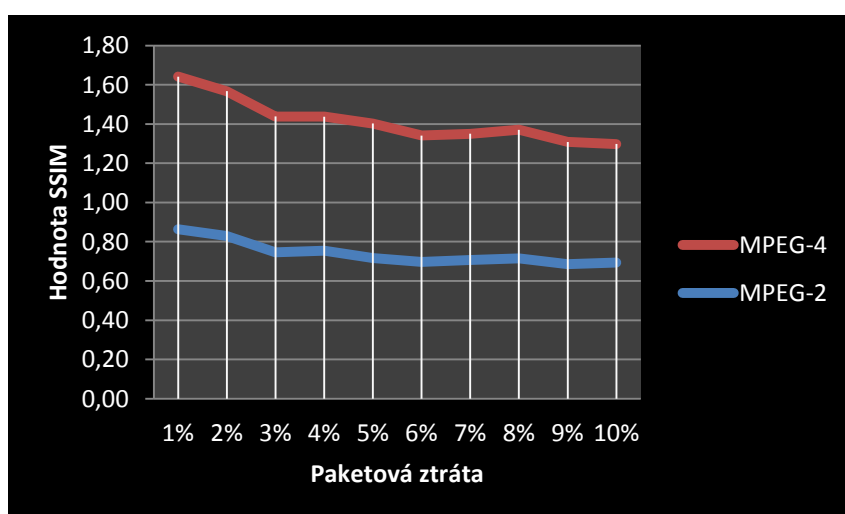
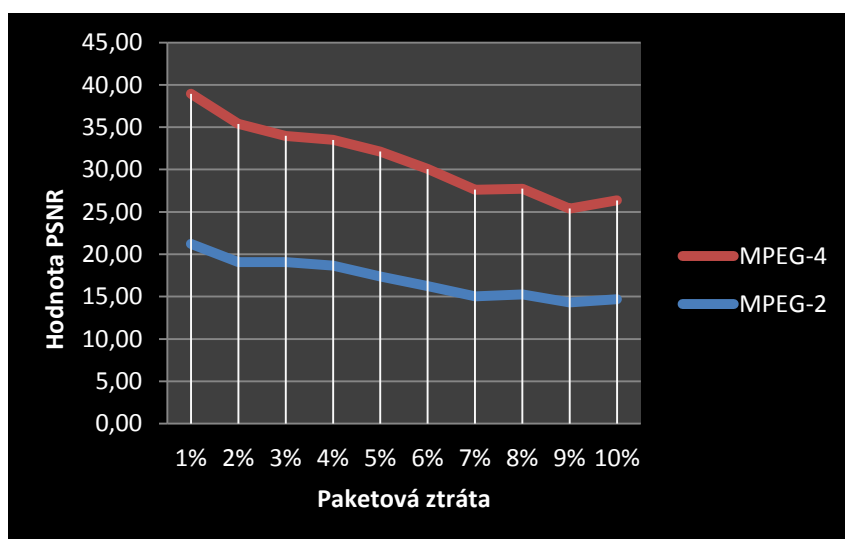
---

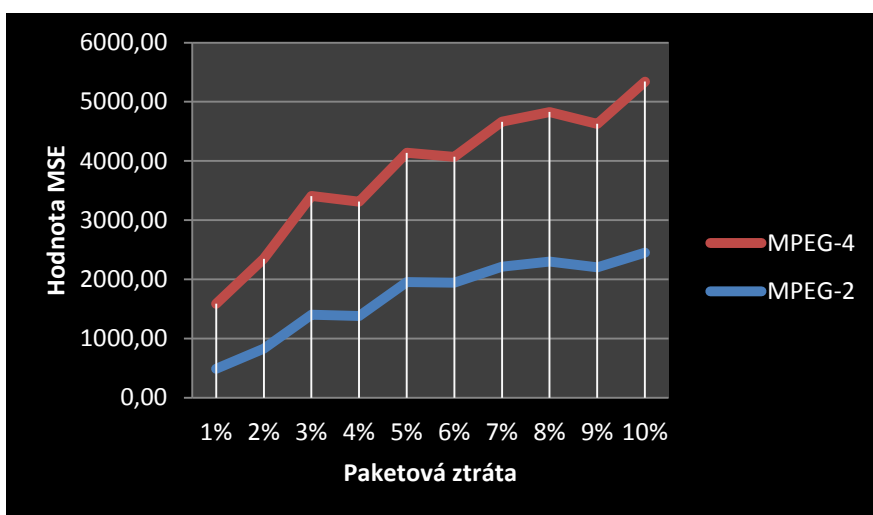
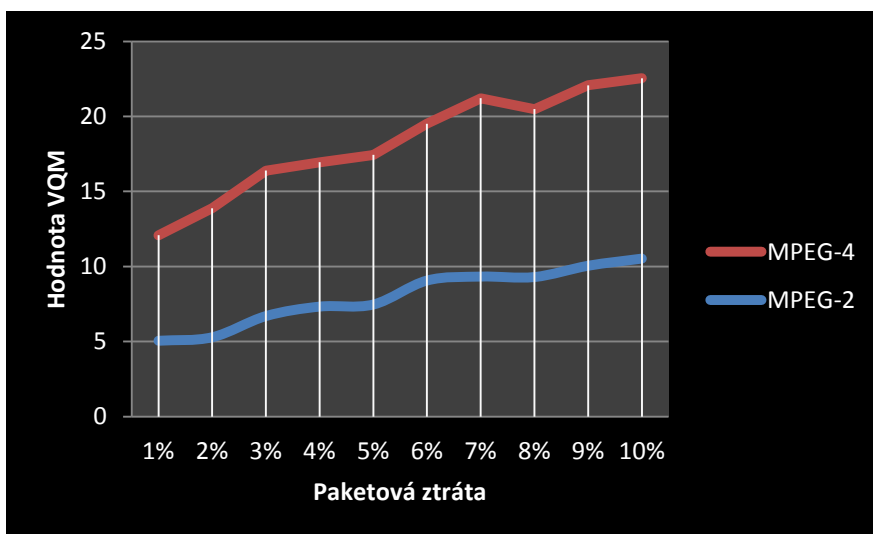
Příloha B: *Naměřené hodnoty dynamického videa*

Rozlišení 720x576

PSNR		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	21,23	17,72
2%	19,08	16,31
3%	19,08	14,90
4%	18,65	14,85
5%	17,38	14,74
6%	16,23	13,83
7%	15,02	12,61
8%	15,27	12,47
9%	14,30	11,11
10%	14,71	11,66
SSIM		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	0,86	0,78
2%	0,83	0,74
3%	0,75	0,69
4%	0,75	0,68
5%	0,72	0,69
6%	0,70	0,64
7%	0,71	0,64
8%	0,72	0,65
9%	0,69	0,62
10%	0,69	0,60
VQM		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	5,05	7,03
2%	5,28	8,60
3%	6,69	9,69
4%	7,33	9,61
5%	7,46	9,97
6%	9,06	10,45
7%	9,33	11,88
8%	9,30	11,19
9%	10,05	12,03
10%	10,53	12,02

MSE		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	490,00	1099,89
2%	827,87	1521,90
3%	1403,35	2004,78
4%	1383,01	1930,43
5%	1955,54	2183,76
6%	1942,72	2127,38
7%	2212,93	2451,35
8%	2302,97	2525,10
9%	2202,30	2424,28
10%	2453,63	2889,09



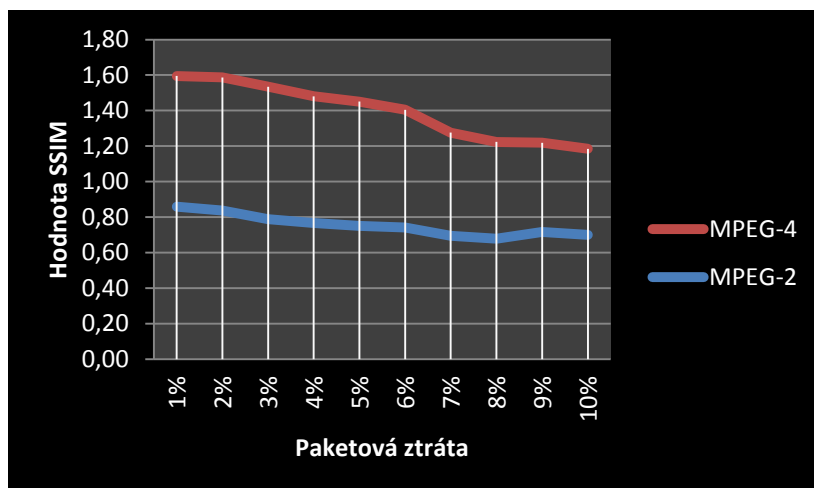
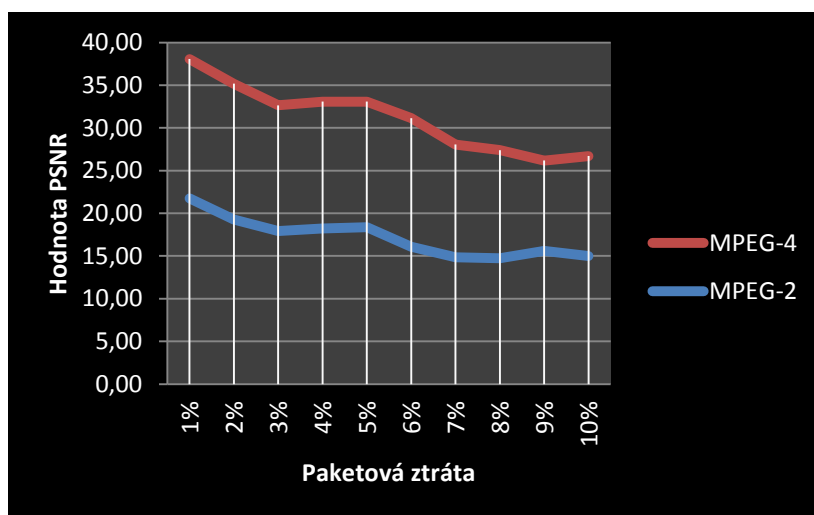


---

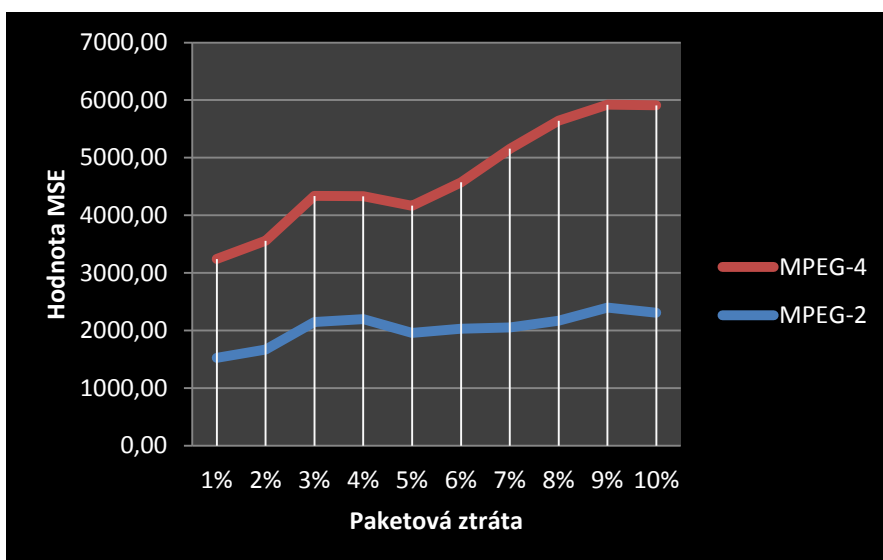
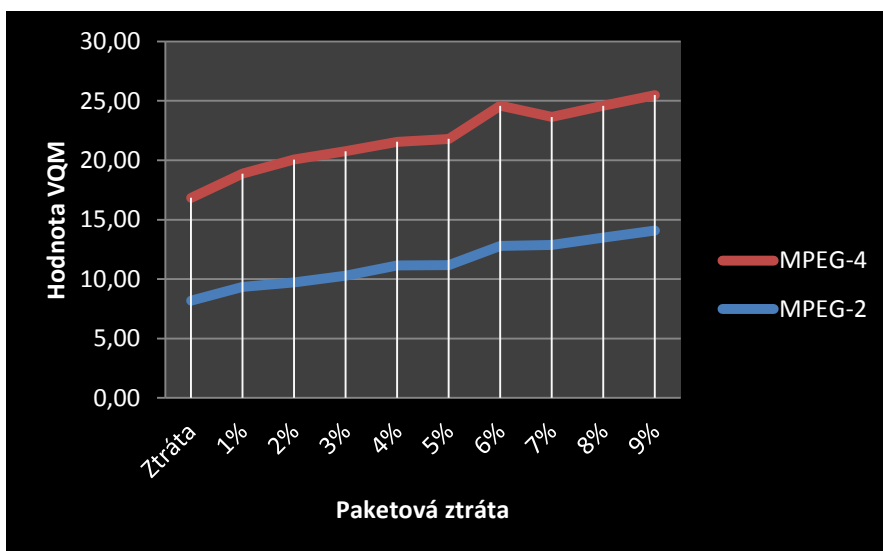
**Rozlišení 1 280x720**

PSNR		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	21,76	16,30
2%	19,27	15,90
3%	17,91	14,73
4%	18,24	14,84
5%	18,38	14,69
6%	16,07	15,08
7%	14,84	13,22
8%	14,74	12,66
9%	15,62	10,57
10%	14,98	11,72
SSIM		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	0,86	0,74
2%	0,84	0,75
3%	0,79	0,74
4%	0,77	0,71
5%	0,75	0,70
6%	0,74	0,66
7%	0,69	0,58
8%	0,68	0,55
9%	0,72	0,50
10%	0,70	0,49
VQM		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	8,18	8,67
2%	9,33	9,53
3%	9,71	10,35
4%	10,30	10,46
5%	11,16	10,40
6%	11,18	10,62
7%	12,80	11,79
8%	12,88	10,76
9%	13,49	11,08
10%	14,08	11,41

MSE		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	1525,74	1715,26
2%	1672,20	1885,49
3%	2149,93	2187,01
4%	2196,19	2133,84
5%	1960,07	2206,90
6%	2029,83	2541,71
7%	2056,31	3100,39
8%	2169,64	3473,68
9%	2398,55	3522,48
10%	2311,54	3597,08







---

**Rozlišení 1 920x1 080**

PSNR		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	19,00	15,91
2%	18,00	13,59
3%	14,96	13,25
4%	15,86	11,52
5%	14,41	12,24
6%	14,96	12,62
7%	15,30	12,97
8%	14,11	12,16
9%	14,13	11,46
10%	13,20	12,12
SSIM		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	0,91	0,82
2%	0,88	0,72
3%	0,81	0,71
4%	0,81	0,66
5%	0,78	0,61
6%	0,76	0,63
7%	0,80	0,65
8%	0,73	0,64
9%	0,70	0,60
10%	0,68	0,58
VQM		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	8,76	8,83
2%	8,67	10,26
3%	9,06	12,11
4%	9,97	12,03
5%	9,33	13,32
6%	9,85	15,16
7%	9,45	15,16
8%	10,19	15,36
9%	10,60	14,63
10%	11,54	15,80

MSE		
Ztráta	MPEG-2	MPEG-4
1%	1351,57	1707,56
2%	1969,87	2822,26
3%	1980,18	2947,77
4%	2061,23	3462,01
5%	2049,48	3351,43
6%	2001,81	3704,70
7%	2074,09	3916,49
8%	2127,51	3955,97
9%	2365,63	4071,99
10%	2723,95	4480,89

